
IS206X——DSP配置工具和AEC调整指南简介

特性

- 支持声学回声消除（Acoustic Echo Cancellation, AEC），可消除扬声器输出耦合到麦克风的声学回声。
- 支持降噪（Noise Reduction, NR），可抑制稳态环境噪声以增强语音信号质量。
- 支持均衡器（EQ），可为语音和音频应用提供5频段EQ，以改善所用麦克风或扬声器的频率响应。此外，还提供了各种默认音效来提高用户体验。
- 支持高通滤波器（High Pass Filter, HPF），可提供低延时IIR结构的低通滤波器，以滤除MIC和SPK路径中不需要的低频段。

在单声道扬声器/扬声器电话和立体声头戴式耳机应用中，可使能MB-DRC和VB来增强音频的清晰度。使能AW可为用户提供更优质的实时音效。

简介

本应用笔记提供了IS206X SoC的常规信息，此外还介绍了高性能降噪、支持高级信号处理技术的声学回声消除、完善的语音和音频增强功能、滤波、均衡和音效处理。此外，在产品开发过程中，还可以在不同的应用中微调AEC和NR。另外，数字信号处理器（Digital Signal Processor, DSP）配置工具中还提供了参数微调分步指南，可供系统设计人员根据需要设置DSP功能。

IS206X SoC专为高性能信号处理而设计，可提供出色的语音或音频用户体验。IS206X SoC的基本模块包括滤波器、稳态NR、SpkGain、MIC增益、AEC和I²S模块，可选模块为AES和音效模块。这两个可选模块可根据客户要求进行调整。AEC功能在同步定向连接（Synchronous Connection-Oriented, SCO）链路中的麦克风（上行链路）路径上提供。

除了NR/AEC功能外，音效功能、多频段动态范围压缩（Multi-Band Dynamic-Range-Compression, MB-DRC）、虚拟低音（Virtual Bass, VB）增强和（A2DP）音频流也广泛用于各种应用。

1.0 信号处理流程

为避免之后引起混淆，在介绍信号处理流程之前，我们先定义了一些缩写和术语。在本文档中，蓝牙设备接收位流并发送给DSP进行解码处理的路径称为“下行链

路/下行/远端/扬声器”路径。蓝牙设备发送由DSP处理器编码的位流的路径称为“上行链路/上行/近端/MIC”路径。

图1: 语音信号处理

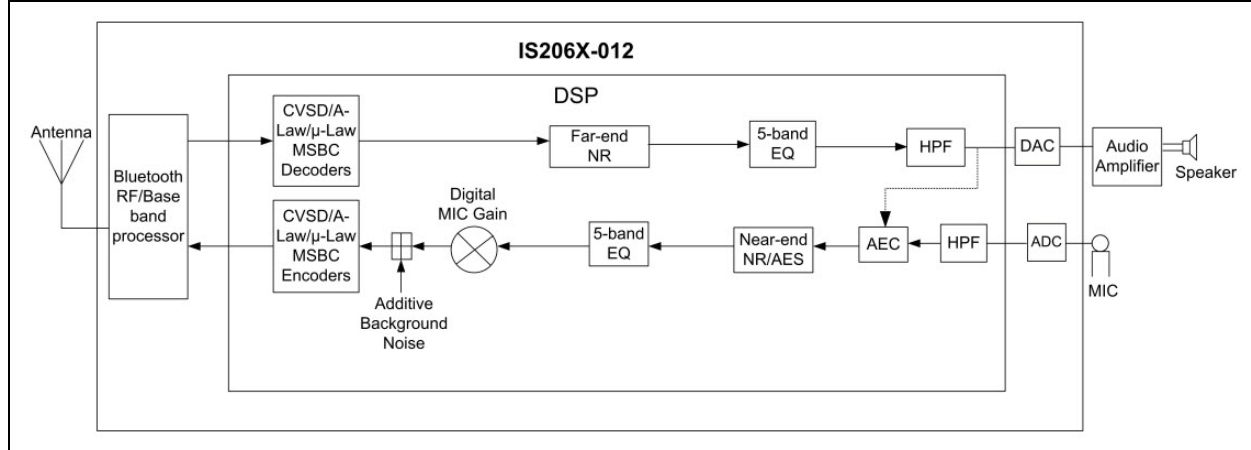


图2: 音频信号处理

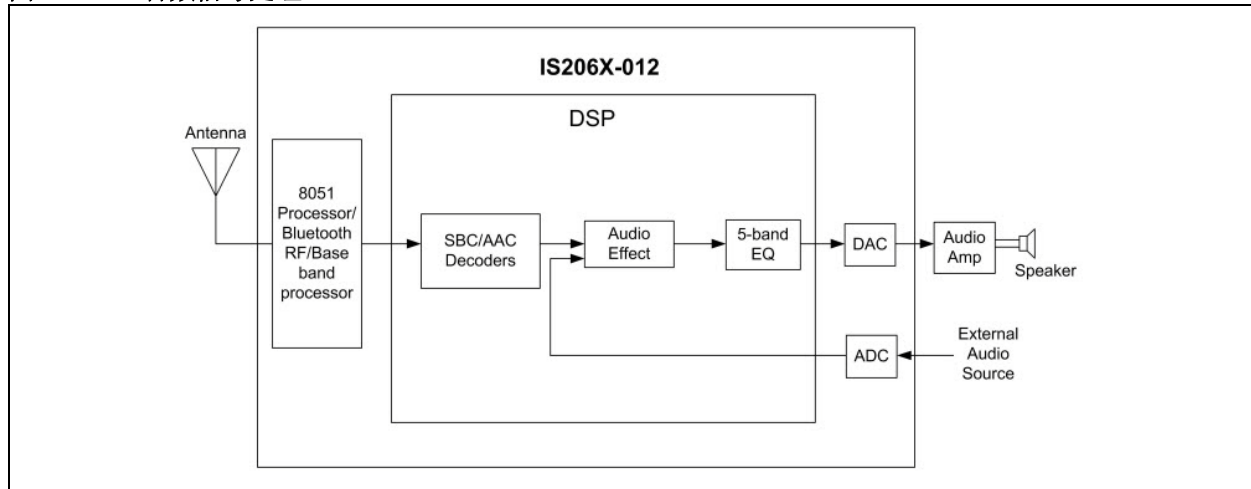


图1和图2给出了用于语音和音频信号处理的免提电话和耳麦应用的DSP处理流程框图。DSP部分专注于语音编码器/解码器和音频解码器及其相应的信号处理功能。嵌入式模数编解码器（Analog-to-Digital Codec, ADC）提供88 dB的高信噪比（Signal-to-Noise Ratio, SNR）数据转换，而数模编解码器（Digital-to-Analog Codec, DAC）提供98 dB的高SNR数据转换。蓝牙和RF/调制解调器处理介质访问控制（Medium Access Control, MAC）和无线数据传输。对于扬声器和免提电话应用，外部音频放大器用于放大音频信号。

语音编解码器——支持8 kHz带宽的连续可变斜率增量（Continuous Variable Slope Delta, CVSD）和支持16 kHz带宽的改良版子带编码（Modified Subband Coding, mSBC）可用于蓝牙语音应用，如图1所示。mSBC是蓝牙免提配置文件（Hands-Free Profile, HFP）1.6中定义的强制性语音编解码器，可提供高清语音质量。只要主机设备通过HFP 1.6配置文件建立了蓝牙链路，mSBC就会变为语音编解码器，与蜂窝网络条件（即3G网络或VoLTE）无关。

在图2中，DSP包含MB-DRC、VB和AW功能，后跟用于实现音效的5频段EQ。数字线路输入环回模式能够从外部音频源获取信号并反馈到DSP进行音频处理，此过程经音效和5频段EQ功能处理后形成蓝牙

A2DP 音频流。IS206x 系列中带闪存的型号支持 SBC 和 AAC-LC 解码器。带 ROM 的型号不支持 AAC-LC。有关详细信息，请参见《Bluetooth® 双模式立体声音频 SoC》(DS60001409F_CN)。不过，为了合法使用 AAC-LC 解码器，在产品投放市场之前，需要获得“Via Licensing”提供的许可证。

2.0 DSP配置工具

图3给出了DSP配置工具窗口及其包含的各种选项卡：Main Function（主要功能）、Voice Function（语音功能）、Audio Function（音频功能）和I²S/PCM。

本节将介绍Main Function选项卡的功能，以及用于DSP整体设置的两种可配置模式，即“免提电话”模式和“扬声器”模式。

“免提电话”模式允许用户配置NR/EC/EQ/FIR功能，而“扬声器”模式无法进行配置。用户需要选择其中一种模式，单击DSP Default（DSP默认值）按钮会将参数初始化为默认设置。

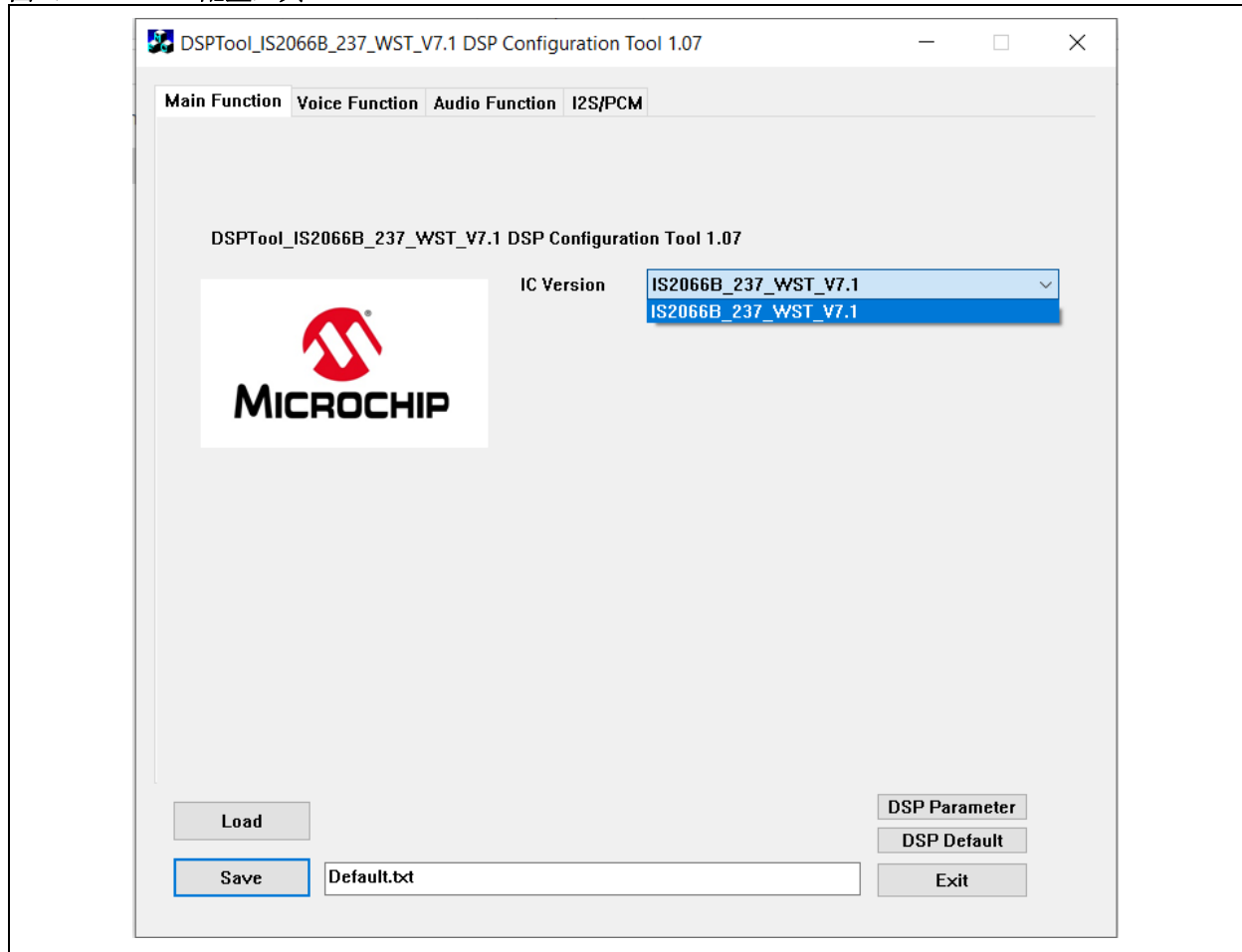
- **Load（加载）按钮**——可用于加载并传送EEPROM文件中DSP相关参数的信息，并将其相应的值自动显示在其他选项卡中。

- **Save（保存）按钮**——可用于保存图形用户界面（Graphic User Interface, GUI）工具中的当前设置，并将其转换为EEPROM格式。有关EEPROM格式的信息，请参见7.0“EEPROM文件格式”。
- **DSP Parameter（DSP参数）**——用于导出NR/AEC/音效/DSP系统控制参数，不包括DSP补丁代码、I²S系数和EQ系数。

在Main Function选项卡中，用户需要选择所需的IC编号，然后配置相应的DSP行为。

注： DSP配置工具，支持用于单声道耳麦（Mono-HeadSet, MHS）、立体声耳麦（Stereo-HeadSet, SHS）、单声道免提电话（1SPK）、立体声免提电话（2SPK）和I²S接口应用的产品组合。

图3： DSP配置工具



3.0 语音处理功能

语音处理功能通过以下功能抑制语音通话过程中的环境噪声、回声和其他通话干扰，从而提高语音质量。

- SPK/MIC路径的高通滤波器（HPF）——消除低频电路板/背景噪声
- 降噪（NR）
- 回声消除（Echo Cancellation, EC）/回声抑制（Echo Suppression, ES）——线性/非线性回声消除
- 在MIC路径中插入舒适噪声——插入舒适噪声以维持稳定的噪声级别
- SPK/MIC路径的5频段EQ——补偿频率缺陷
- MIC和扬声器增益控制器

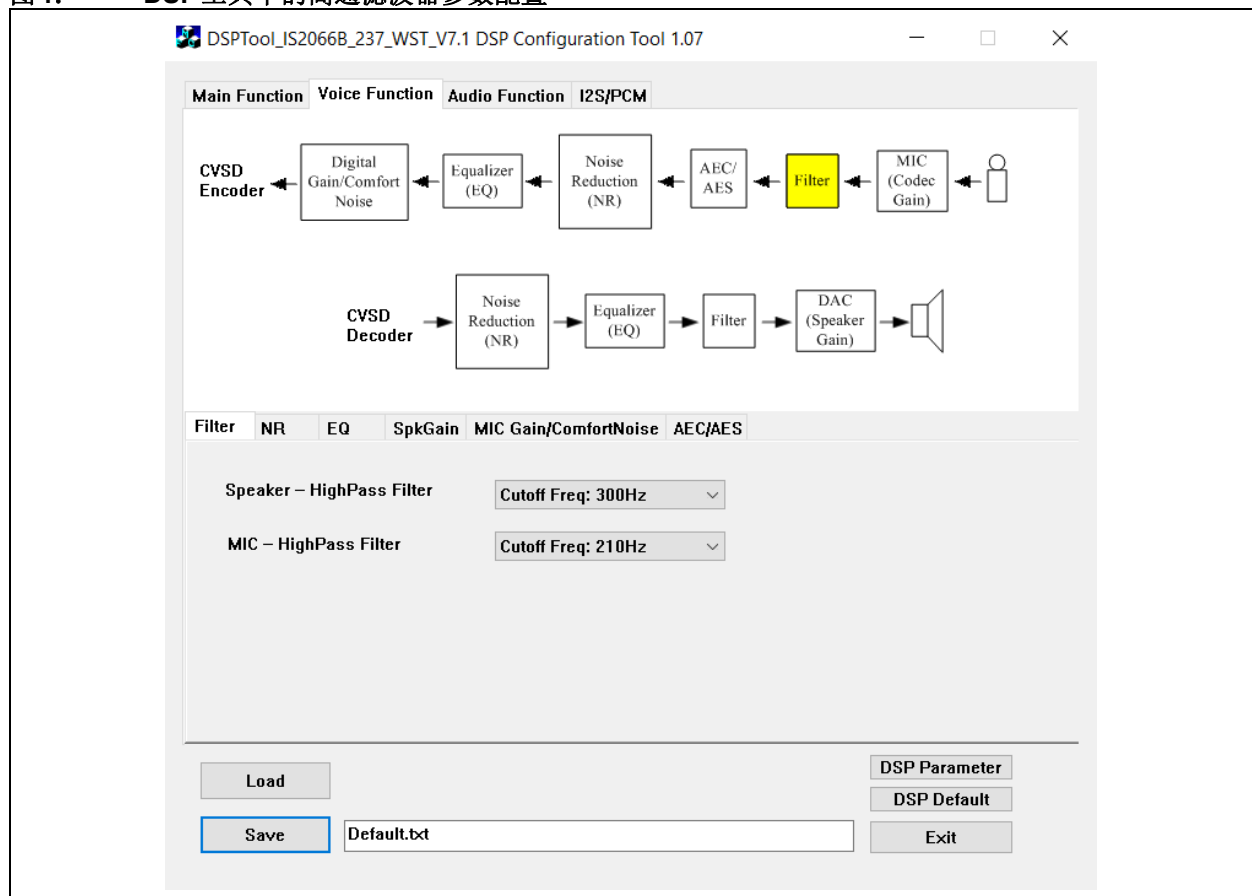
3.1 高通滤波器

高通滤波器（HPF）可实现低延时和无限冲激响应（Infinite Impulse Response, IIR）滤波。

HPF的主要功能包括七个可选的截止频率，用于对有害的低频信号（例如PCB噪声、耦合电流噪声和风噪声等）进行滤波。需要在语音信号质量和降噪级别之间做出权衡。扬声器的默认截止频率为300 Hz，MIC的默认截止频率为210 Hz。

图4给出了DSP工具中扬声器和麦克风路径的HPF参数配置界面。

图4： DSP工具中的高通滤波器参数配置



AN2432

3.1.1 EEPROM 设置

要使能远端HPF模块，请参见表3-1。

表3-1: 用于在SCO扬声器路径上使能HPF的EEPROM地址

地址	值
0x0300处的Bit 5	0x1

要使能近端HPF模块，请参见表3-2。

表3-2: 用于在SCO麦克风路径上使能HPF的EEPROM地址

地址	值
0x0300处的Bit 4	0x1

表3-3列出了HPF的EEPROM地址和设置。

表3-3: 用于配置HPF功能的EEPROM地址

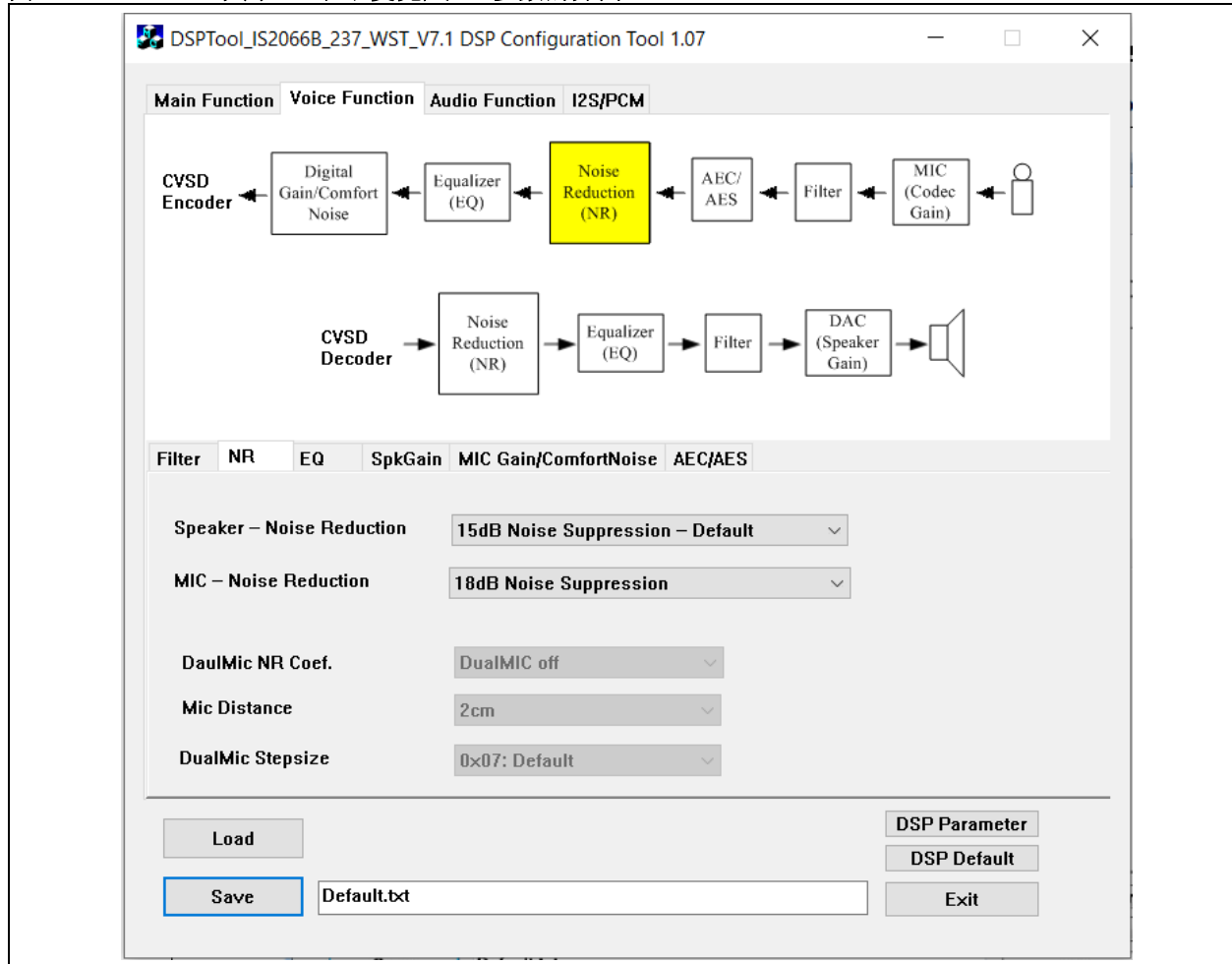
功能	EEPROM地址	默认值	设置
近端HPF	0x0316	0x02	0x00: 50 Hz 0x01: 80 Hz 0x02: 120 Hz 0x03: 180 Hz 0x04: 210 Hz 0x05: 300 Hz 0x06: 400 Hz
远端HPF	0x0317	0x02	

3.2 降噪

降噪（NR）功能用于抑制远端/下行和近端/上行信号中存在的稳态噪声。NR模块还可通过专有的智能语音活动检测（Voice Activity Detection, VAD）有效抑制有害的噪声，同时保持令人满意的语音通信质量。近端和远端用户都能从此功能中受益。

图5给出了DSP工具中NR和双麦克风NR参数的界面。

图5: DSP工具中NR和双麦克风NR参数的界面



仅当为耳麦应用物理使能两个麦克风时，才能激活“DualMic”（双麦克风噪声抑制）功能。DualMic参数包括“DualMic_NRCoeff”、“Mic_Distance”和“DualMic_Stepsize”。

注：“DualMic”功能不是双麦克风回声消除的设计目标，因此无法为免提电话应用使能此功能。

3.2.1 NR抑制级别

如图5所示，NR配置的两个可选参数分别表示低频（<1000 Hz）和低频（1000 Hz至4000 Hz）下的抑制级别。扬声器和麦克风路径的可调范围均为0 dB至21 dB。但是，在DSP配置工具中，仅提供低频NR抑制级别，而高频抑制级别将基于现场测试结果按照经验确定。

3.2.2 DUALMIC_NRCOEFF:

此参数用于确定双麦克风抑制级别。不过，双麦克风抑制级别是噪声抑制能力和语音质量之间的一种权衡。如果选择较高的抑制级别，则语音质量更容易下降。

3.2.3 MIC_DISTANCE:

此参数用于定义达到双麦克风抑制算法最佳性能时两个麦克风之间的距离。如果两个麦克风之间的距离较远（通常超过10 cm，即长麦克风耳麦），则选择高噪声抑制级别，因为其主麦克风的信噪比（SNR）远高于短麦克风耳麦（通常在4 cm左右）。

3.2.4 DUALMIC_STEPSIZE:

此参数用于表示双麦克风噪声抑制算法的收敛时间。如果选择的收敛时间太短，则线性噪声抑制效果和最短的收敛时间没有太大区别。需要在更短的收敛时间和更出色的噪声抑制之间做出权衡。

3.2.5 EEPROM 设置

要使用远端NR模块，请参见表3-4。

表3-4: 用于在SCO扬声器路径上使能NR的EEPROM地址

地址	值
0x01df处的Bit 2	1
0x01ec处的Bit 0	1
0x01E1处的Bit 0-3	0x1

要使用近端NR模块，请参见表3-5。

表3-5: 用于在SCO麦克风路径上使能NR的EEPROM地址

地址	值
0x01df处的Bit 1	1
0x01ec处的Bit 0	1
0x01E1处的Bit 4-7	0x1

表3-6列出了用于修改NR噪声抑制级别的EEPROM地址。

表3-6: 用于配置NR功能的EEPROM地址

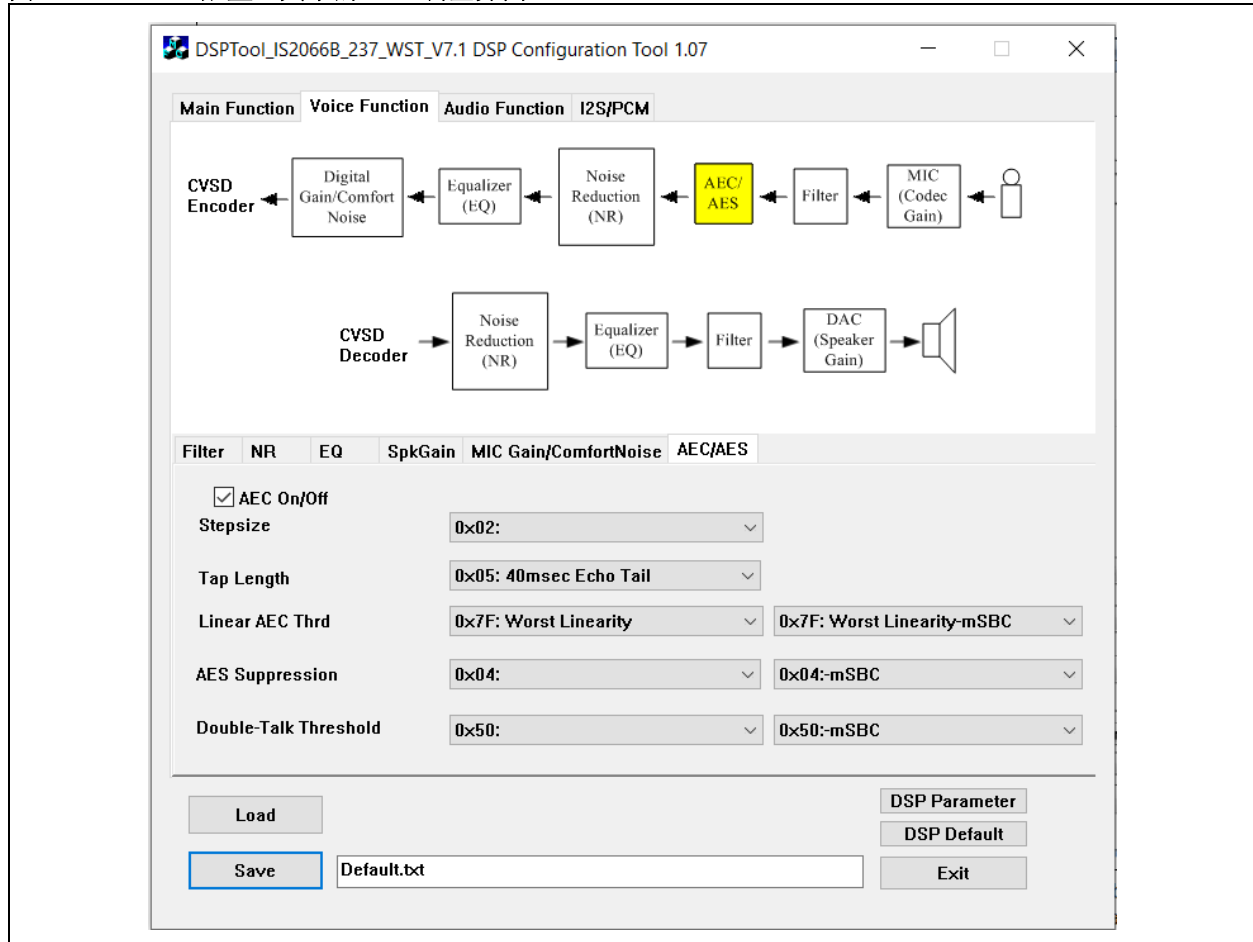
功能	EEPROM地址	默认值	设置
远端NR	0x0325	0x16	0x7F: 0 dB抑制 0x40: 6 dB抑制 0x2D: 9 dB抑制 0x20: 12 dB抑制
近端NR	0x0327	0x10	0x16: 15 dB抑制 0x10: 18 dB抑制 0x0B: 21 dB抑制 0x08: 24 dB抑制 0x06: 27 dB抑制 0x04: 30 dB抑制

3.3 回声消除

要线性消除和抑制返回的回声，需要声学回声消除器（Acoustic Echo Canceller, AEC）和声学回声抑制（Acoustic Echo Suppression, AES）功能。AEC和AES之间的区别在于AEC可以通过保持所需的近端语音来消除线性耦合的回声。通过更出色的AEC性能，可以轻松实现全双工语音通信。但是，免提电话外壳、扬声器/麦克风设备缺陷以及不良回声环境所产生的非线性回声不会被AEC消除。因此，AES的功能是基于语音活动检测信息抑制频域内与所需信号和有害回声信号混合的输入信号。因此，请谨慎选择AES和双端发声

阈值的参数，以免在非线性回声较强或麦克风与扬声器过近的情况下，降低预期的语音质量。图6给出了DSP配置工具中的AEC调整界面。

图6: DSP配置工具中的AEC调整界面



下文介绍了用于微调回声消除性能的可调参数:

3.3.1 AEC_STEPSIZE

AEC收敛速度。如果选择较快的收敛速度，则将以线性方式消除较低的回声。另一方面，这样可实现更出色的线性回声消除性能。

3.3.2 AEC TAP LENGTH

所选的抽头长度必须长于回声尾长，并且必须在回声消除（EC）性能和每秒百万条指令（Mega-Instructions Per Second, MIPS）之间做出权衡。单击时长越长，MIPS和DSP功耗就越高。

3.3.3 DOUBLE-TALK THRESHOLD

AEC全双工表示两端用户同时讲话时，远端用户可以听到的近端用户的语音量。此参数实际映射到一个阈值，用于控制AES以非线性方式抑制回声。如果此参数

配置为更适合半双工，则双端发声能力会进一步降低，但会消除更多残留回声。

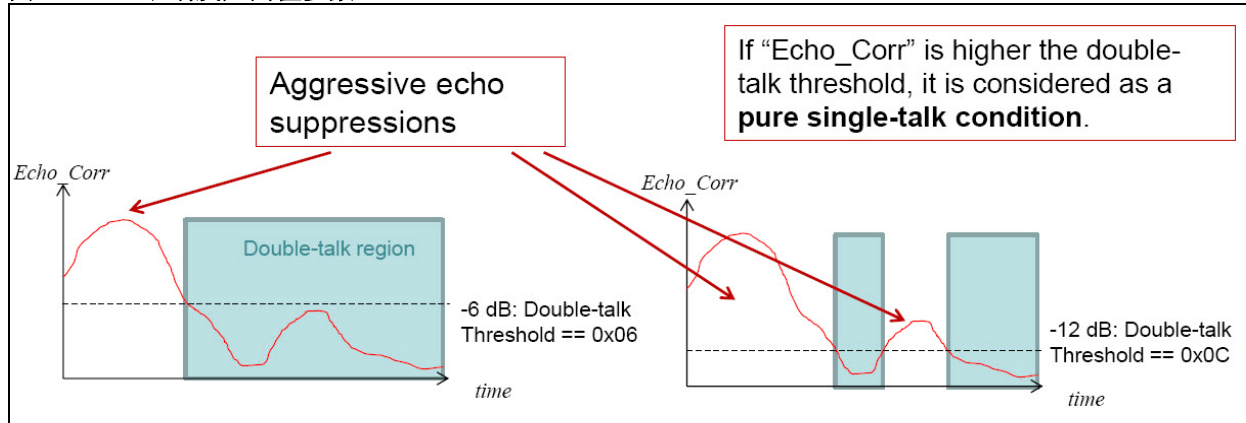
如果我们假设 $x[n]$ 是近端信号，而 $y[n]$ 是远端信号，则这些信号之间的互相关公式表示如下：

$Echo_corr = EMA(corr_coef)$ ，其中EMA是指数移动平均值。

$corr_coef =$

$$\frac{\sum x[n]y[n]}{\sqrt{\sum x[n]^2} \sqrt{\sum y[n]^2}}$$

图7: 双端发声阈值参数



如果双端发声阈值选为0x50，则确定回声是否存在的阈值也会很高。因此，不太可能使能AES功能来抑制残留回声，具体请参见图7。

另一方面，如果双端发声阈值选为0x2D，则此设置更适合使能AES功能来抑制回声。

3.3.4 AES_SUPPRESSION

此参数用于确定最大非线性回声抑制能力。

3.3.5 LINEAR AEC THRESHOLD

此参数用于确定返回回声的线性度阈值。如果选择“Worst linearity”（最差线性度）选项，则会将AES功能配置为使能并抑制残留回声。当返回信号中存在较

多回声时，“Higher linearity”（较高线性度）选项可实现更出色的全双工回声消除性能。

3.3.6 EEPROM 设置

要使能AEC，用户需要按表3-7所示来设置地址。

表3-7: 用于使能AEC功能的EEPROM地址

地址	值
0x01df处的 Bit 0	1
0x01ec处的 Bit 4	1
0x01E2处的 Bit 0-2	0x1

表3-8列出了AEC参数及其相应的地址。

表3-8: 配置AEC参数

参数	地址	说明	默认值
AEC_Stepsize	0x032D Bit 4-7	0x01: 最快AEC收敛到 0x06: 最慢AEC收敛	0x03
AECTapLength	0x0311	0x01: 8 ms回声尾长到 0x0A: 80 ms回声尾长	0x06
Double-Talk Threshold	0x0322/0x0339 (mSBC)	0x7F: 更多全双工到 0x1C: 最少全双工	0x50
AES_Suppression	0x0313/0x0336 (mSBC)	0x01: 最小回声抑制 到0x10: 最大回声抑制	0x04
Linear AEC Threshold	0x032E/0x0338 (mSBC) Bit 0-3	0x7F: 最差线性度 到0x03: 最佳线性度	0x07F

3.4 数字MIC增益

数字MIC增益在麦克风路径上提供了不同的数字控制功能，并允许用户以数字方式提高音量。如果ADC的模拟放大器无法提供足够的增益，则动态MIC控制的数字提升部分将置于所有数字信号处理模块的末尾，如图8所示。

调整数字MIC的增益会放大抑制的回声。

注： DSP配置工具将根据MIC增益（编解码器）自动更新可选的动态范围。

图8给出了用于调整数字MIC增益和舒适噪声配置的参数。

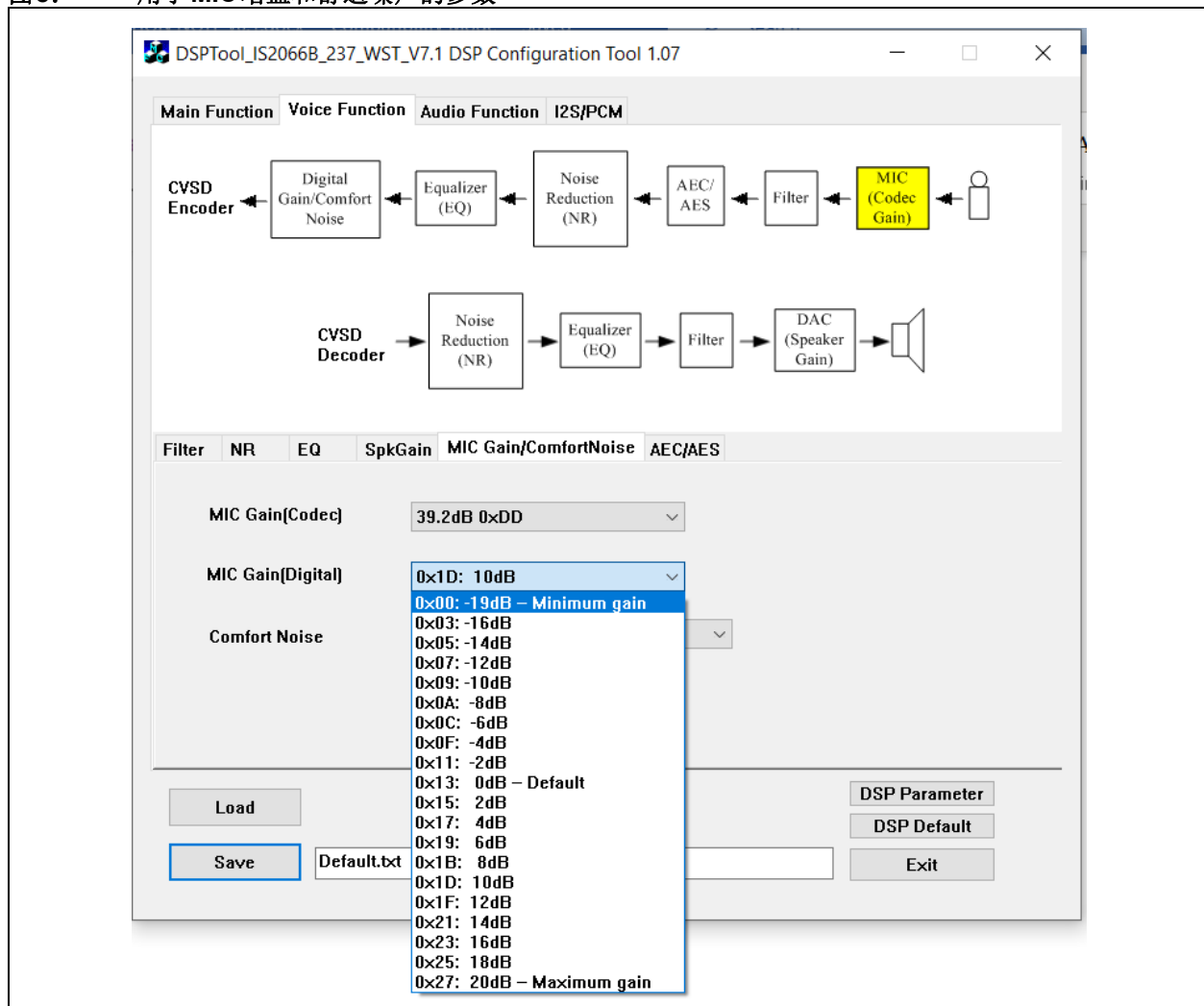
3.4.1 EEPROM设置：

要使能数字MIC增益，需要按表3-9所示配置以下地址。

表3-9： 用于在SCO MIC路径上使能数字提升增益的EEPROM地址

EEPROM地址	MIC增益（数字）
MIC增益（数字）	0x00: -19 dB 数字提升
	0x03: -16 dB 数字提升
	0x05: -14 dB 数字提升
	0x07: -12 dB 数字提升
	⋮
	0x13: 0 dB 数字提升
	0x15: 2 dB 数字提升
	⋮
	0x27: 20 dB 数字提升

图8： 用于MIC增益和舒适噪声的参数



3.5 舒适噪声

舒适噪声是由随机数发生器产生的，其频率响应在所有频率下均不变。主要目的是提供恒定的噪声级别，以避免主机手机的语音编解码器算法注入有害的噪声，从而降低远端听者侧的语音清晰度。

背景噪声：该噪声用于调整舒适噪声的级别。

3.5.1 EEPROM 设置

要在 SCO MIC 路径上使能舒适噪声，需要按表 3-10 所示配置 EEPROM 地址。

表 3-10: 用于在 SCO MIC 路径上使能舒适噪声的 EEPROM 地址

EEPROM 地址	MIC 增益 (数字) 值
0x306 (MSB) / 0x307 (LSB)	0x7FFF: 0 dBc 最高舒适噪声级别 0x4000: 6 dBc 舒适噪声级别 0x2000: 12 dBc 舒适噪声级别 0x1000: 18 dBc 舒适噪声级别 0x0800: 24 dBc 舒适噪声级别 0x0400: 30 dBc 舒适噪声级别 0x0200: 36 dBc 舒适噪声级别 0x0100: 42 dBc 舒适噪声级别 0x0080: 48 dBc 舒适噪声级别 0x0040: 54 dBc 舒适噪声级别 0x0020: 60 dBc 舒适噪声级别 0x0010: 66 dBc 舒适噪声级别 0x0008: 72 dBc 舒适噪声级别 0x0004: 78 dBc 舒适噪声级别 (建议) 0x00002: 84 dBc 舒适噪声级别 0x00001: 无舒适噪声级别

为了支持 HFP 1.6，用户需要针对 8 kHz 和 16 kHz 分别配置 EQ 系数，方法是单击 Custom EQ – MIC (自定义 EQ —— MIC) 或 Custom EQ – SPK (自定义 EQ —— SPK) 按钮以显示 EQ 配置窗口，如图 9 所示。

3.6 均衡器

均衡器 (EQ) 可以灵活地改善所选麦克风和扬声器的频率响应。此功能为 MIC 和扬声器路径提供了 5 频段自定义滤波器。

图 9 给出了使用按钮为扬声器和麦克风路径配置均衡器的界面。

- 自定义 EQ —— MIC (麦克风路径)
- 自定义 EQ —— SPK (扬声器路径)

注： 支持 mSBC 的自定义 EQ 专为免提配置文件 (HFP) 1.6 而配置，它支持宽带 (16 kHz 采样率) 语音功能。

图9: SCO或语音模式下扬声器和MIC路径的EQ配置界面

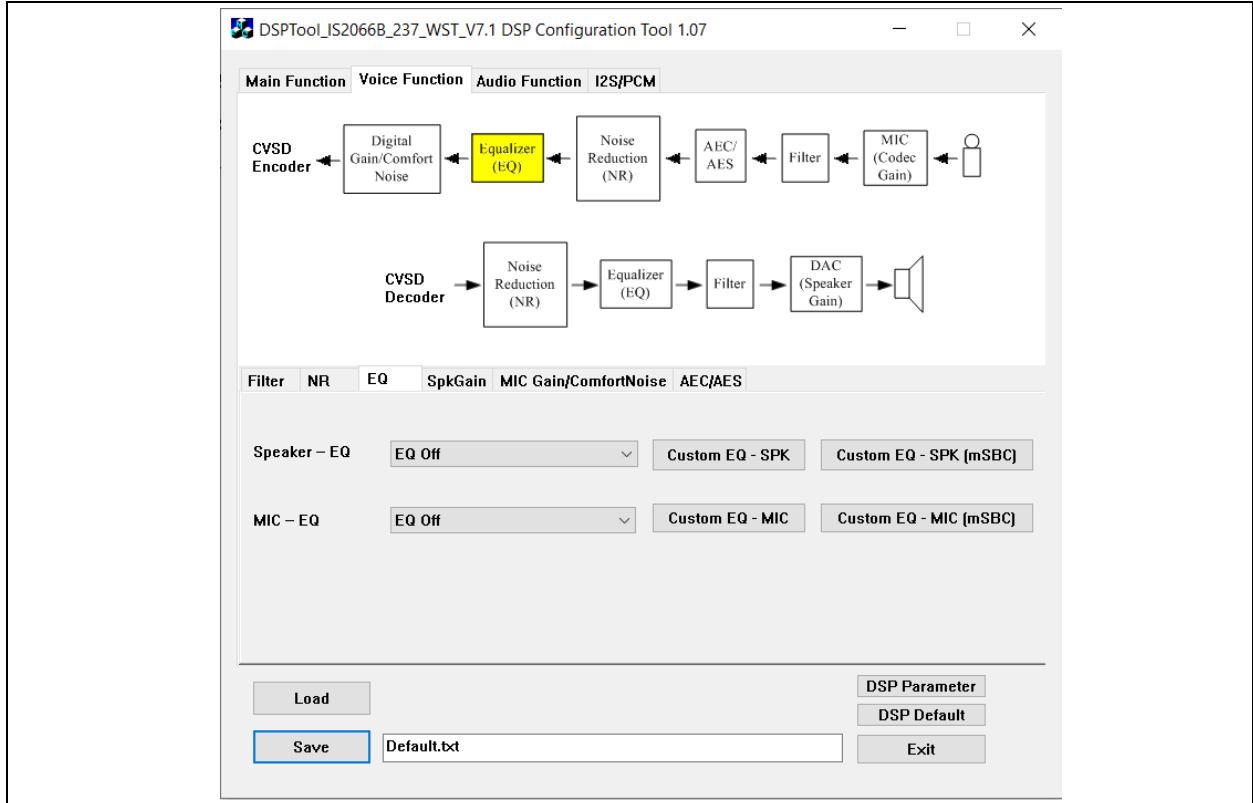
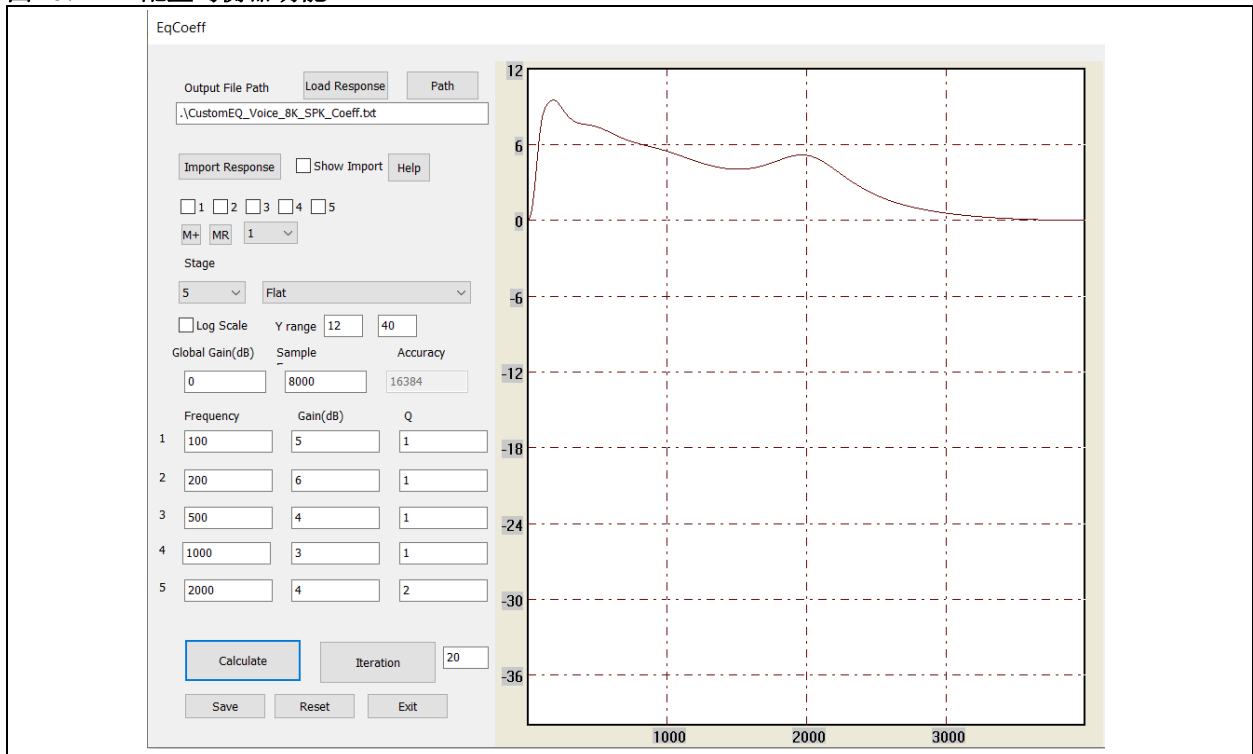


图10说明了如何配置均衡器功能。

图10: 配置均衡器功能



AN2432

在列中输入所需的频率和增益/衰减。品质因数(Q)的各个列用于配置每个均衡器频段的截止频率。请注意,“Q”值越小,带通截止频率就越宽,如图10所示。“M+”和“MR”按钮的功能相当于计算器的“M+”和“MR”。这两个按钮的用途是记录频率响应,以方便进行分析比较。

用户需要单击Save按钮来保存设计的频率响应,系统会将当前EQ的配置自动存储到文件中。用户单击Load

Response(加载响应)按钮就能恢复先前设计的频率响应和EQ配置。

“Stage”(级数)部分用于配置所用一阶IIR滤波器的频段数。“级数”越少,MIPS和功耗就越低。

3.6.1 EEPROM 设置:

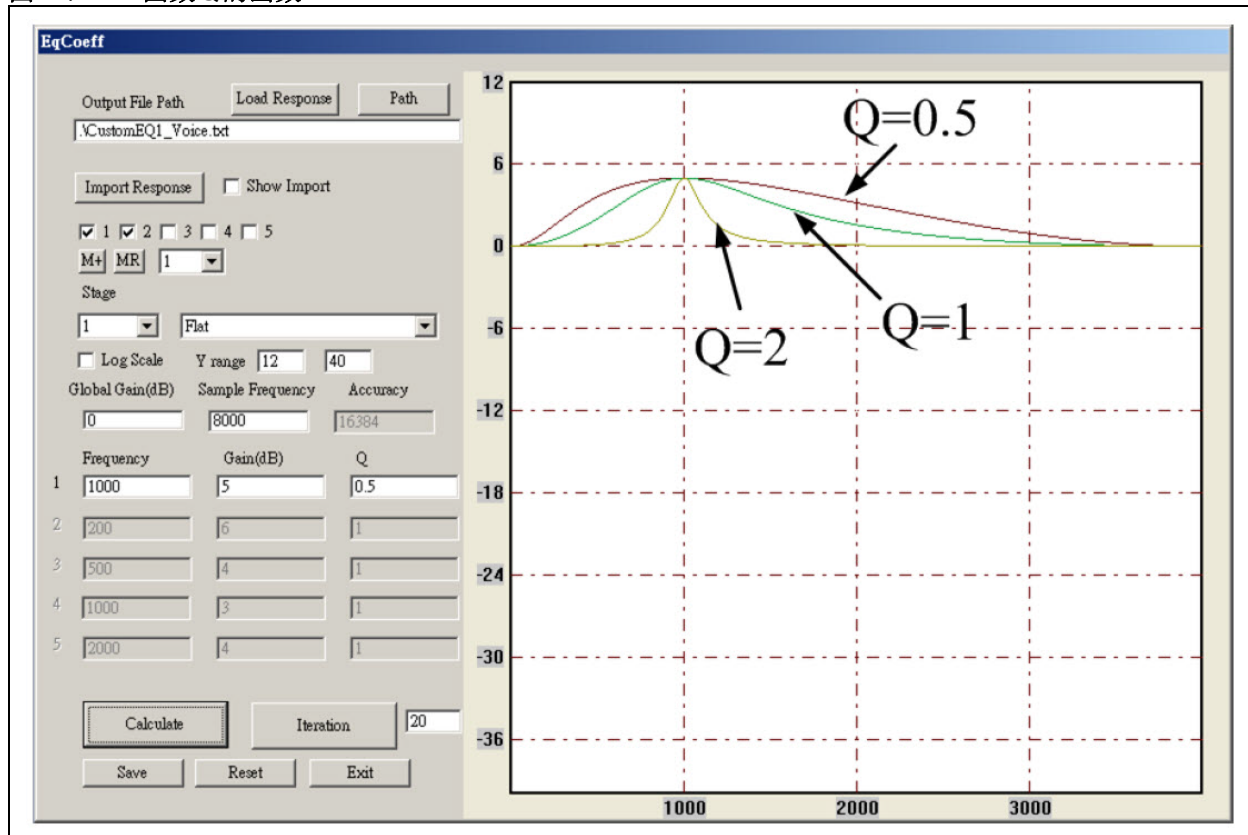
要为语音应用使能EQ,需要按表3-11所示配置相应位。

表3-11: 用于使能EQ功能的EEPROM地址

位地址	MIC 路径	扬声器路径
0x1EC的Bit 3	1	1
0x1DF的Bit 6	1	不需要
0x1DF的Bit 5	不需要	1
0x356/0x358 (mSBC)	0x0B/0x0D	不需要
0x357/0x359 (mSBC)	不需要	0x0C/0x0E
0x1E1的Bit 2	1	不需要
0x1E1的Bit 6	不需要	1

图11说明了因数Q的函数。

图11: 因数Q的函数



3.7 扬声器/麦克风增益设置

扬声器增益级别和麦克风增益级别在DSP配置工具中配置。共有三种不同的扬声器增益级别，可以根据特定要求进行选择。确定扬声器增益级别后，请确保为每个级别选择相应的增益。

“MIC Gain (codec)”（MIC增益（编解码器））的各个麦克风增益级别之间的增益差介于2.7 dB至3.4 dB之间，如图12所示。

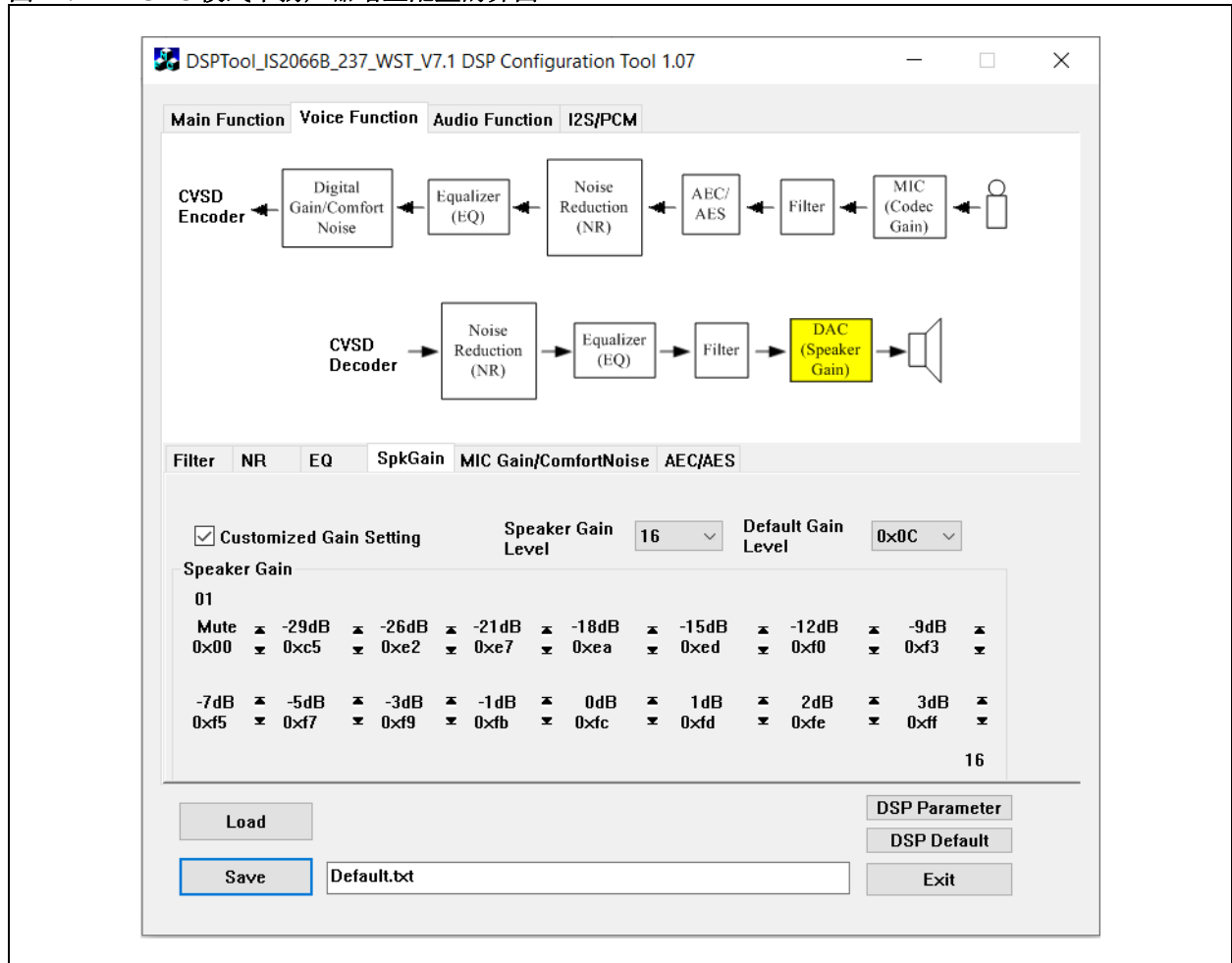
3.7.1 EEPROM设置:

要使能麦克风和扬声器增益，需要按表3-12所示配置相应位。

表3-12: 用于MIC和扬声器增益的EEPROM地址

功能	EEPROM地址
MIC路径	0x00C5
扬声器路径	0x018D至0x019C

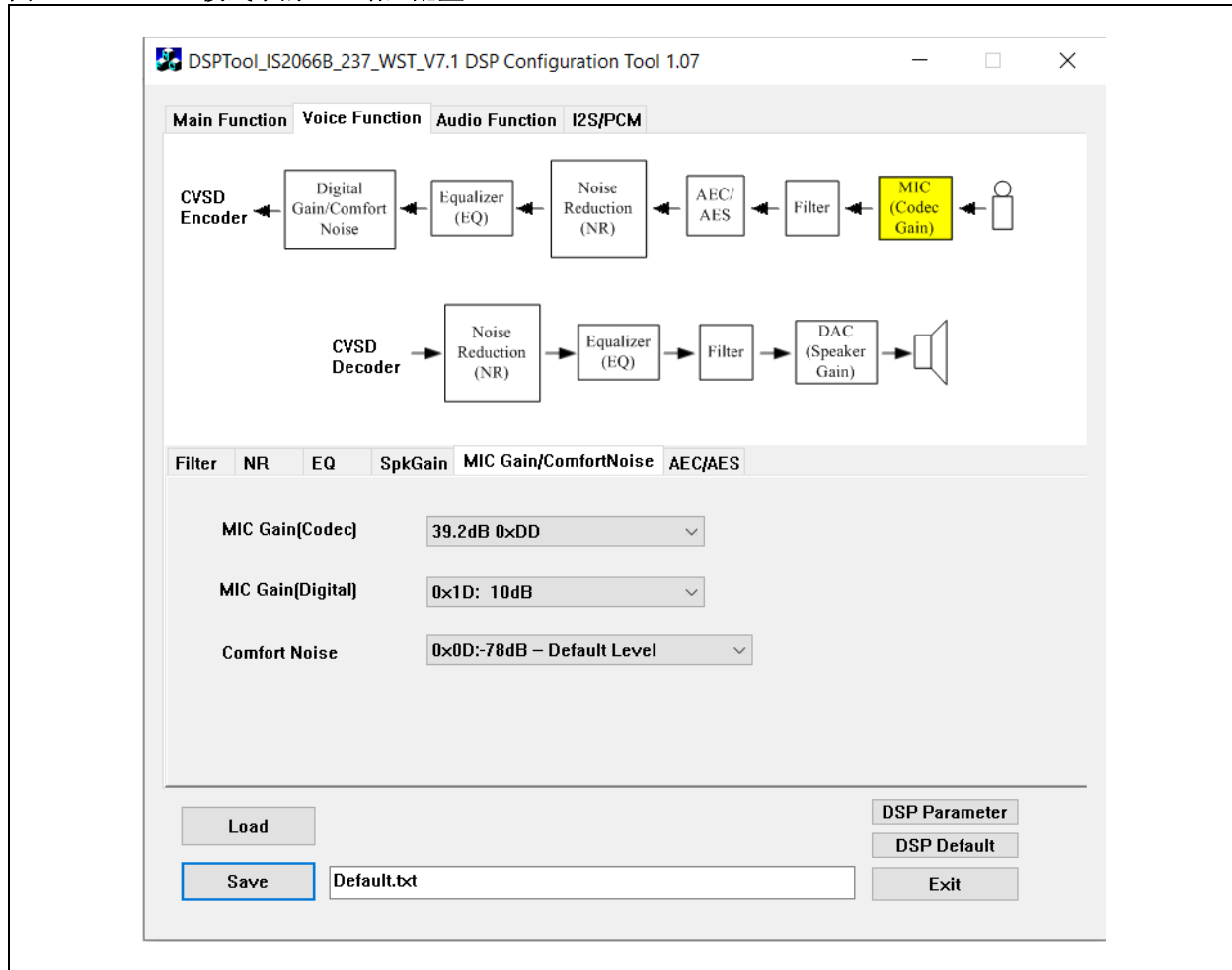
图12: SCO模式下扬声器增益配置的界面



AN2432

图13给出了SCO模式下的MIC增益配置。

图13: SCO模式下的MIC增益配置



4.0 音频处理功能

音频处理用于改善以下功能的音频收听体验：

- SPK的5频段EQ
- 多频段动态范围压缩（MB-DRC）
- 虚拟低音（VB）增强——使用心理声学算法增强低音
- 音频加宽（Audio Widening, AW）过程——使距离很近的扬声器听起来像彼此远离一样

图2给出了音频信号处理的系统图。除SBC解码器外，仅允许一个EQ处理音频信号。图14给出了音频功能的EQ配置。在“EQ Mask Selection”（EQ模板选择）列中，选择可调的特殊音频音效。除了“Custom EQ”（自定义EQ）选项外，还可使用外部按钮来选

择不同的音效。“Custom EQ 2”（自定义EQ 2）的配置步骤与EQ相同，有关详细信息，请参见3.6“均衡器”。

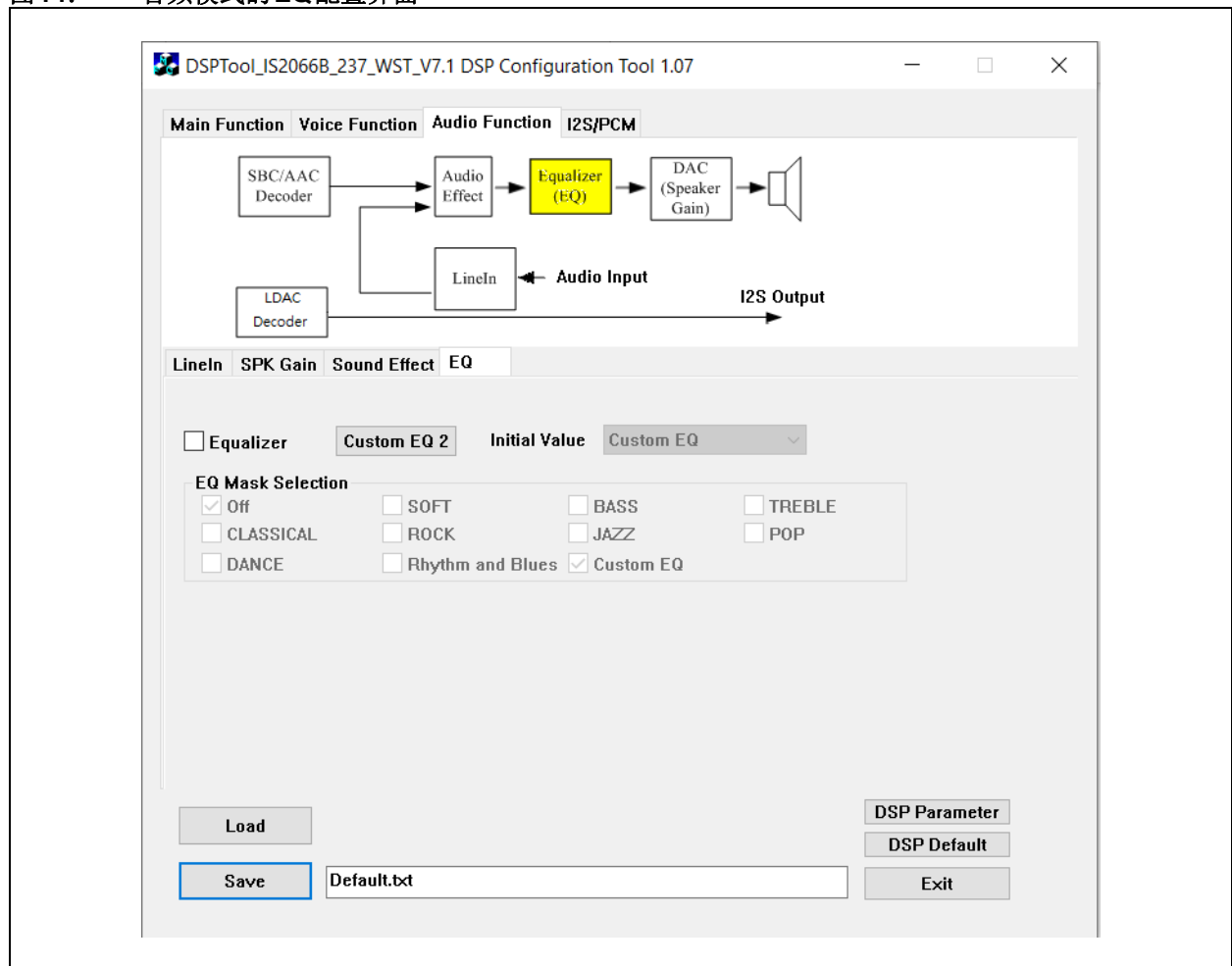
4.0.1 EEPROM设置：

要为音频应用使能EQ，需要按表4-1所示配置相关位。

表4-1： 用于在音频（或SBC）模式下使能EQ的EEPROM地址

地址	值
0x1EC的Bit 3	1
0x1E0的Bit 5	1
0x1E7	0x0A
0x1E8	0x07
0x1E9	0xFF

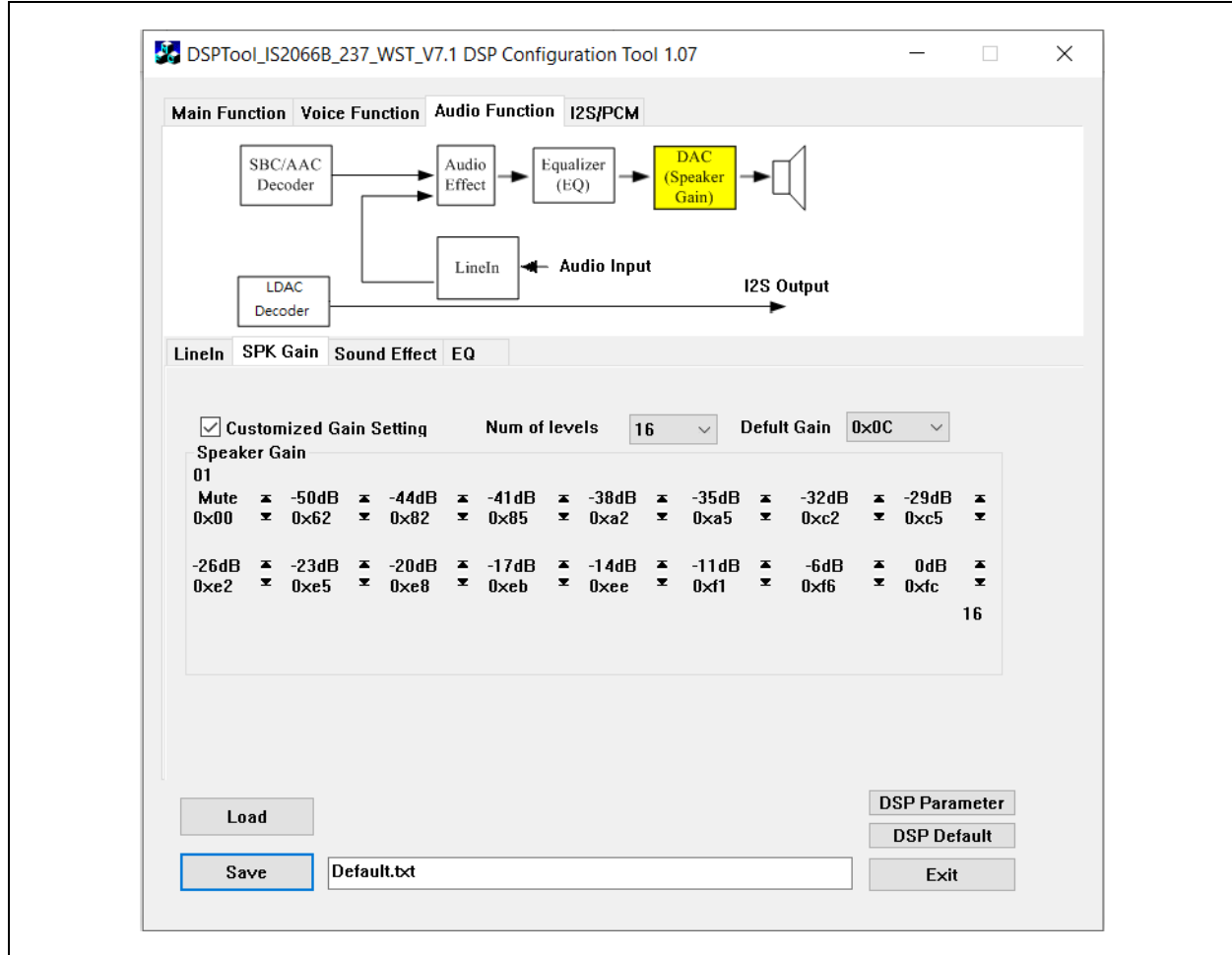
图14： 音频模式的EQ配置界面



4.1 扬声器增益设置/线路输入设置

与语音应用的扬声器设置类似，扬声器增益级别也是可选的。有关选择步骤，请参见 3.7 “[扬声器/麦克风增益设置](#)”。

图 15: 音频模式下扬声器增益的配置界面

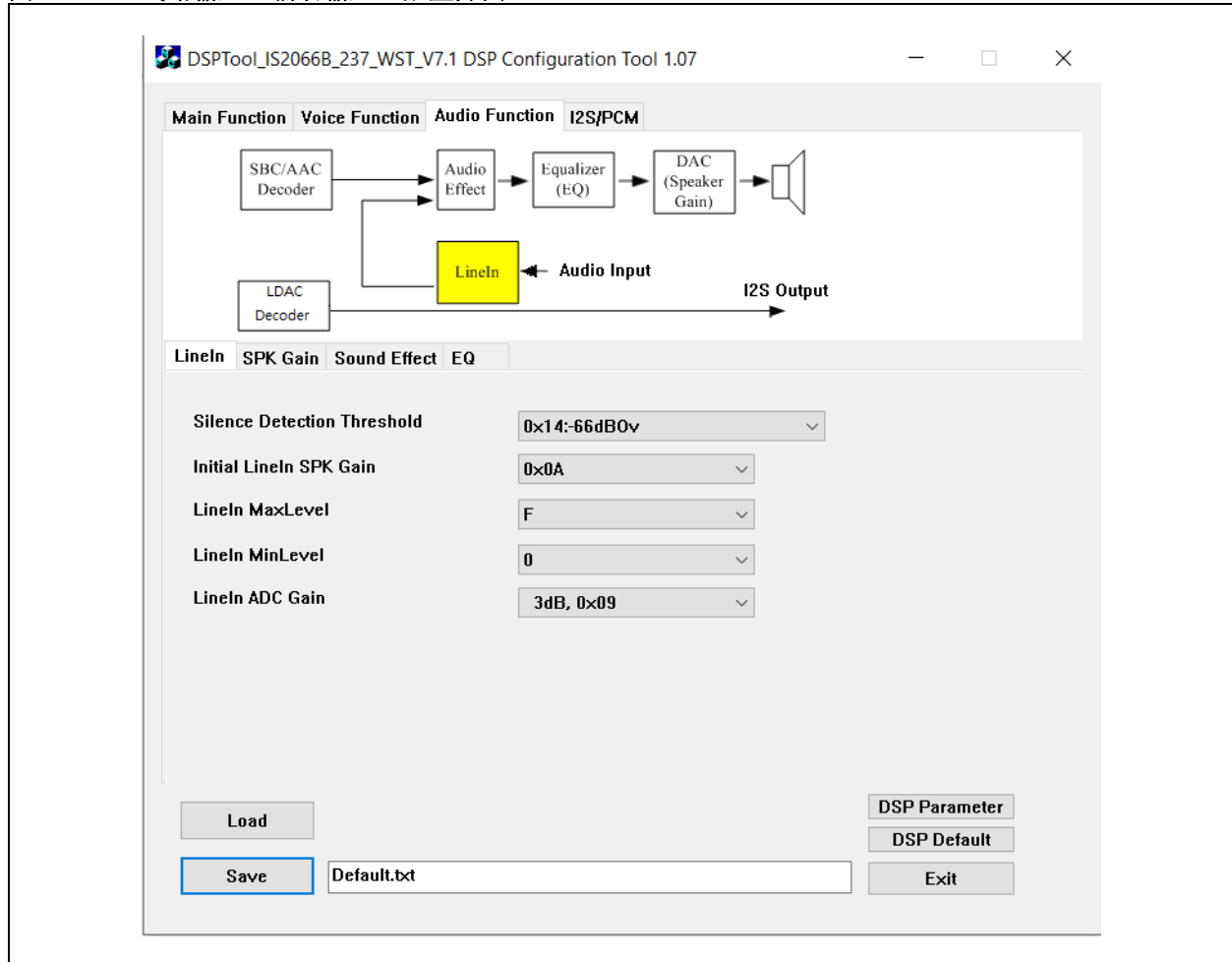


4.2 线路输入静默检测的自动断电模式

系统可凭借DSP功能检测线路输入信号的功率级别。线路输入信号的功率级别以数字方式计算，静默状态将报告给蓝牙MAC控制器。“Initial Line-In SPK Gain”（初始线路输入SPK增益）用于配置线路输入增益以放大外部信号源并通过扬声器播放。

“Silence Detection Threshold”（静默检测阈值）用于确定自动断电机中线路输入信号的静默功率阈值级别。

图 16: 线路输入（辅助输入）配置界面



4.2.1 线路输入静默检测的参数:

图 16 给出了线路输入静默检测的参数。

4.2.2 SILENCE DETECTION THRESHOLD

此参数用于确定自动断电机制中线路输入信号的静默功率阈值级别。

4.2.3 INITIAL LINE-IN SPEAKER GAIN

固件使用此 DAC 增益进行初始化，同时使用所选的索引（图中为“0x0A”）播放线路输入模式。索引的增益（dB）值参见从图 17 中提取的表。这将增大/减小扬声器的音量。

4.2.4 LINE-IN MAX LEVEL

固件使用此级别索引（图中为“F”）限制线路输入模式下的最大 DAC 增益。索引的增益（dB）值参见从图 17 中提取的表。

4.2.5 LINE-IN MIN LEVEL

固件使用此级别索引（图中为“0”）限制线路输入模式下的最小 DAC 增益。索引的增益（dB）值参见从图 17 中提取的表。

注： 参数“Line-in max level”（线路输入最大级别）和“Line-in min level”（线路输入最小级别）规定了扬声器增益值的范围。

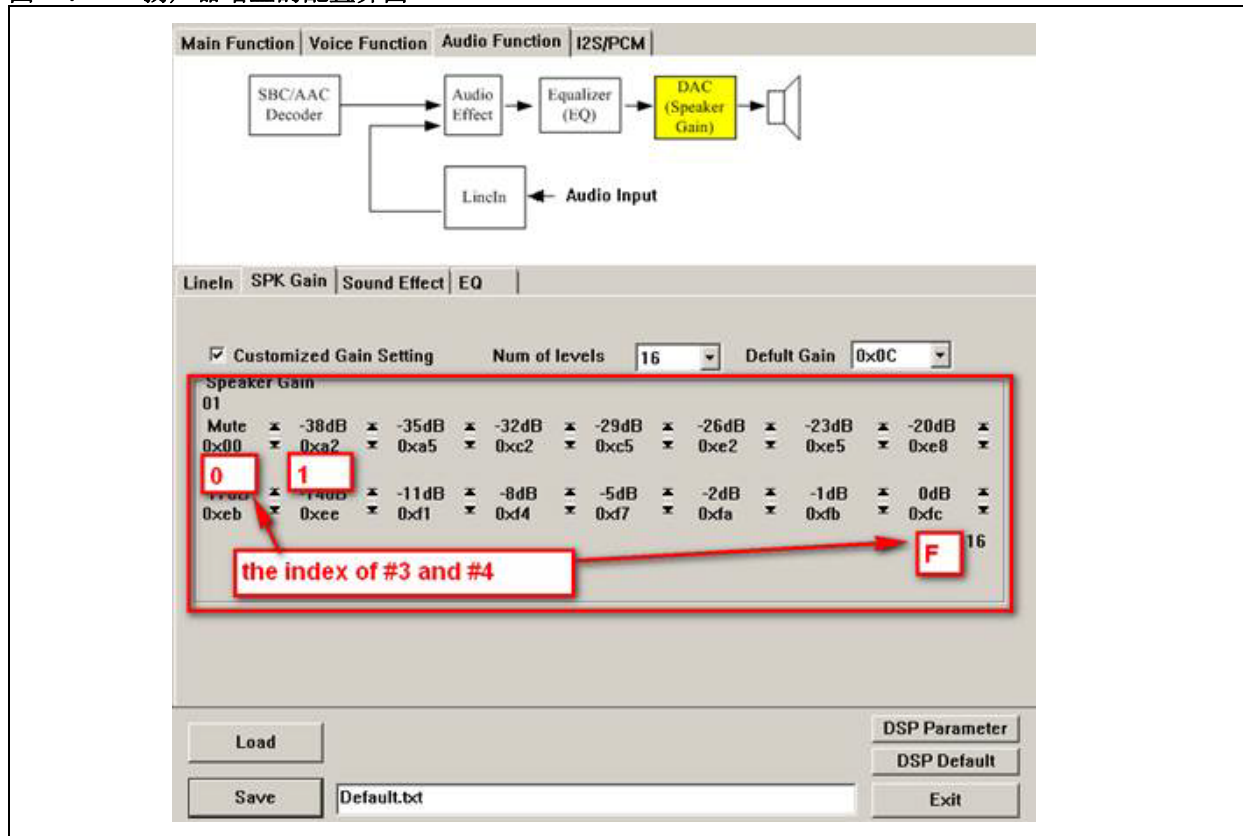
4.2.6 LINE-IN ADC GAIN

固件配置 ADC 增益，同时使用所选索引“3 dB, 0x09”播放线路输入模式。这可控制麦克风的音量。

当连接了线路输入模式并且没有音频（噪声的 RMS 功率）低于 DSP 工具中设置的阈值时，DSP 会向 8051 发送信号。随后 8051 将向系统发送掉电信号。如果断电后有音频，则无法播放，这是因为系统已关闭，需要上电才能播放。

有关详细信息，请参见“BM64S-114 Evaluation Board User's Guide”（DS00000000）。

图 17: 扬声器增益的配置界面



系统断电的时间设置在 MCU 固件 UI 工具中进行，如图 18 所示。

图 18: 自动断电

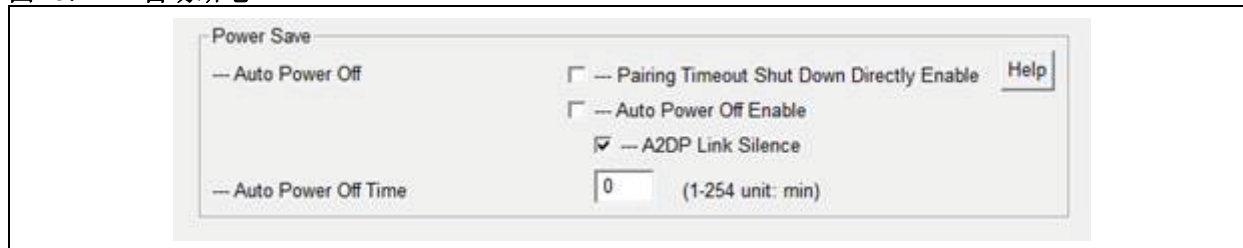
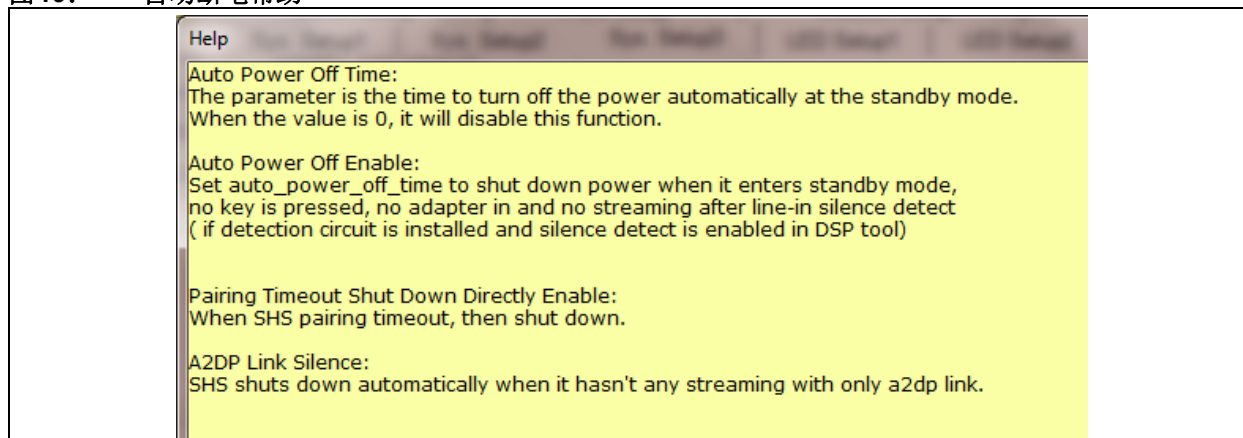


图 19: 自动断电帮助



4.3 音效 —— 音频加宽和多频段动态范围压缩

音频加宽 (AW) 和多频段动态范围压缩 (MB-DRC) 是嵌入式音频信号处理的两个功能，无需使用 IS20XX SoC 系列中的外部数字信号处理器即可提供更出色的音频质量和用户体验。

AW 功能通过操作彼此靠近的扬声器播放的信号来处理音频信号，使它们的声音听起来像彼此远离一样。通过这种方式，可以改善音质并带来更出色的环境音效。

MB-DRC 功能是自动音量控制，使用以下压缩机制。向下压缩可将较大的声音降低到一定阈值以上，而较小的

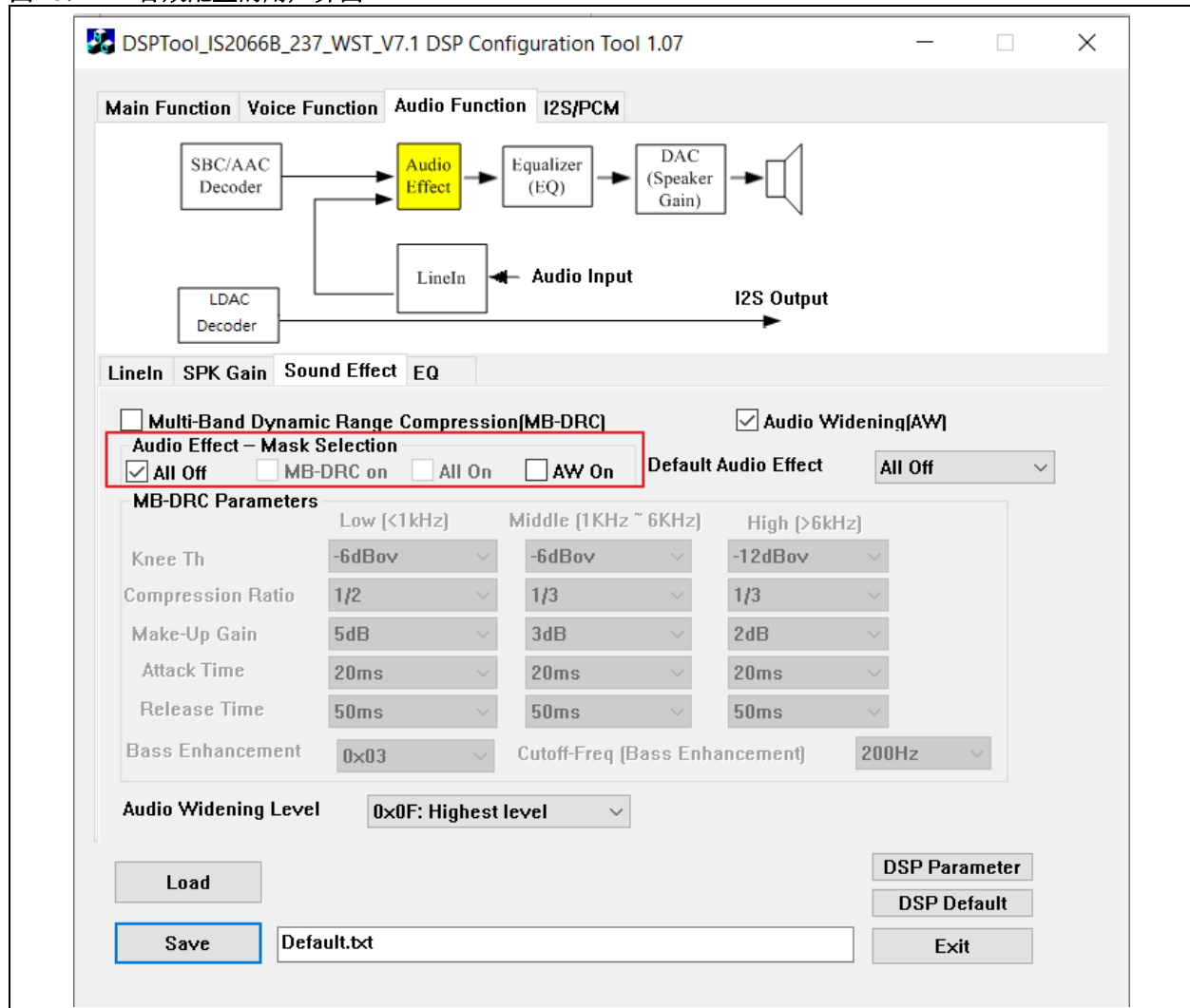
声音则不受影响。向上压缩将声音的响度提高到一定阈值以下，超过该阈值的声音则不受影响。

向下压缩和向上压缩都会缩小音频信号的范围。这样做是出于美学原因，目的是应对音频设备的技术限制，或者提高音频在嘈杂环境中的可听度。这种方式会缩小音频信号的动态范围。

4.3.1 AW 和 MB-DRC 的参数：

图20给出了AW和MB-DRC的可调参数。必须选中MB-DRC和AW的复选框才能启用这些功能。

图20： 音效配置的用户界面



4.3.2 AUDIO EFFECT – MASK SELECTION

“Audio Effect - Mask Selection”（音效——模板选择）用于选择音效的组合，可通过任一外部按钮实现此操作，如图20所示。另外，可选择All off（全部关闭）、MB-DRC On（MB-DRC开启）和All On（全部开启）。当选择“Next”（下一个）按钮时，音效将从一个切换到下一个。选定音效的顺序为All Off、MB-DRC On、All On和All Off。

4.3.3 DEFAULT AUDIO EFFECT

此参数用于在器件上电后选择初始音效模式。

4.3.4 MB-DRC 参数

MB-DRC的一般概念是将输入信号以非线性方式转换为其输出。控制MB-DRC行为的参数包括“Knee Th”（拐点阈值）、“Compression Ratio”（压缩比）、“Make-Up Gain”（补偿增益）、“Attack Time”（起音时间）、“Release Time”（释音时间）和“Bass Enhancement”（低音增强）。MB-DRC提供三个不同频段（0 kHz至1 kHz，1 kHz至6 kHz和> 6 kHz）的可调参数来更好地处理输入信号。下面列出了这些参数的说明：

4.3.5 KNEE TH

此参数对应于压缩阈值，如图20所示。此参数将声级限制为应用补偿增益的级别。

4.3.6 COMPRESSION RATIO

术语压缩比（Compression Ratio, CR）用于压缩超出音频信号“拐点阈值”的输入声级。但是，如果CR接近0，则更容易产生由于压缩引起的失真。

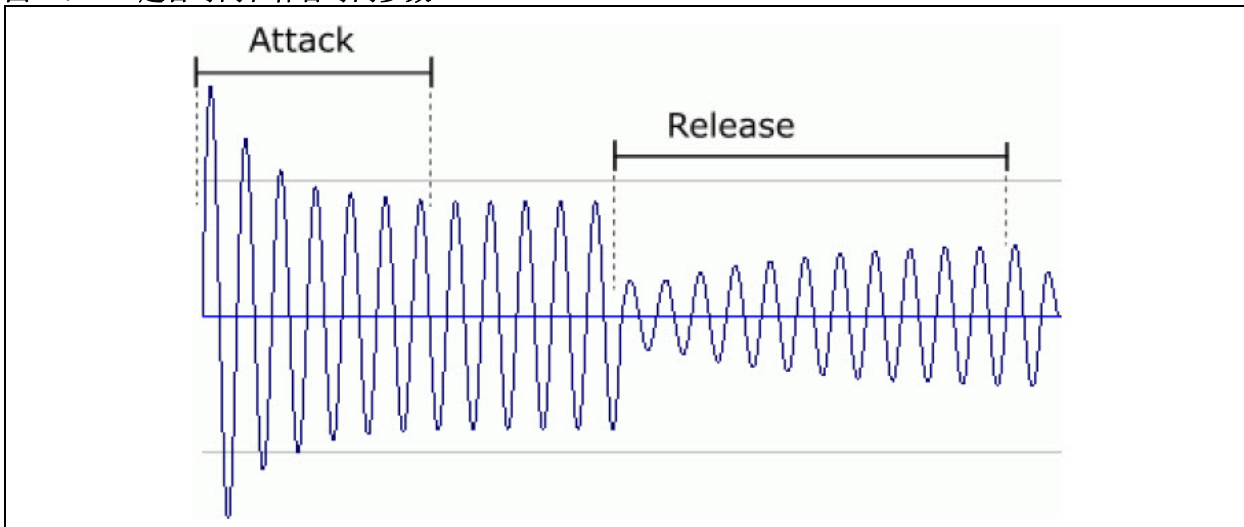
4.3.7 MAKE-UP GAIN

补偿增益是应用于音频信号的最大增益，其中平均功率介于静默阈值和压缩拐点之间。此参数将柔和的音乐信号提升至可听级别，尤其是在嘈杂的环境中。

4.3.8 ATTACK TIME 和 RELEASE TIME

Attack Time和Release Time参数是时间段，可使1-1/e达到其最终值的63%。图21给出了起音时间和释音时间常量的差异。起音时间是将超出“Knee Th”级别的信号幅值降低的时间段，而释音时间是将低于“Knee Th”级别的信号幅值升至其所需“Make-Up Gain”级别的时间段。

图21：起音时间和释音时间参数

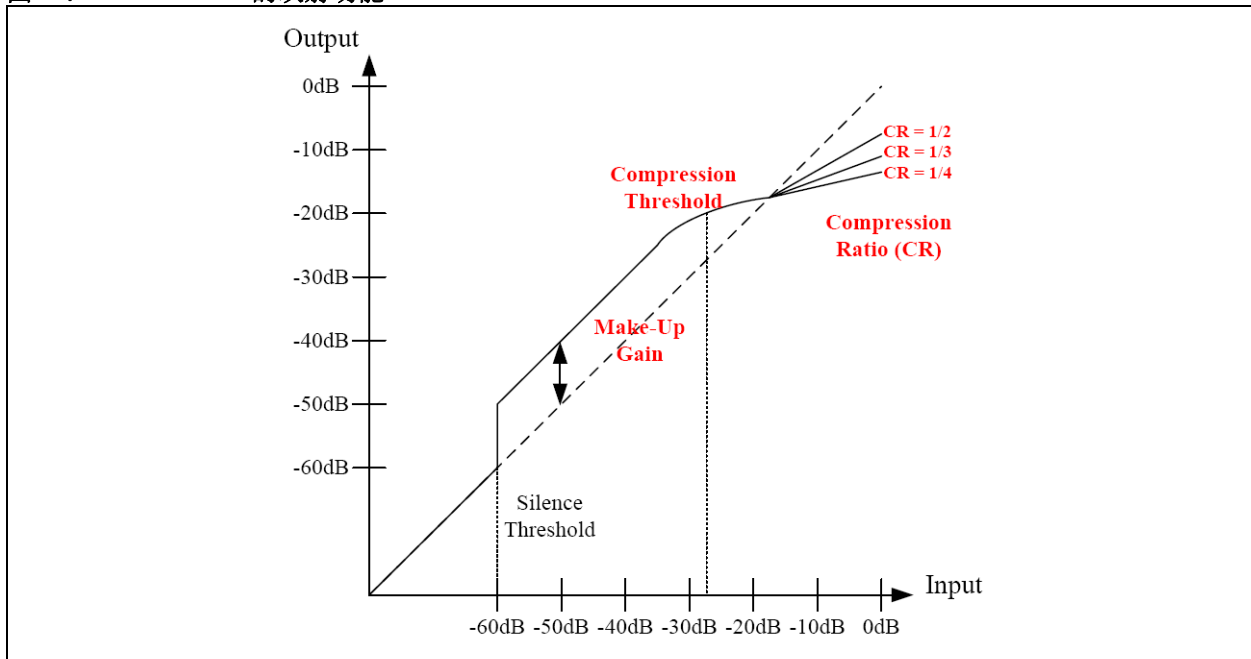


4.3.9 BASS ENHANCEMENT

此参数用于控制与MB-DRC功能一起使能的低音增强级别。

图22给出了MB-DRC的映射功能。

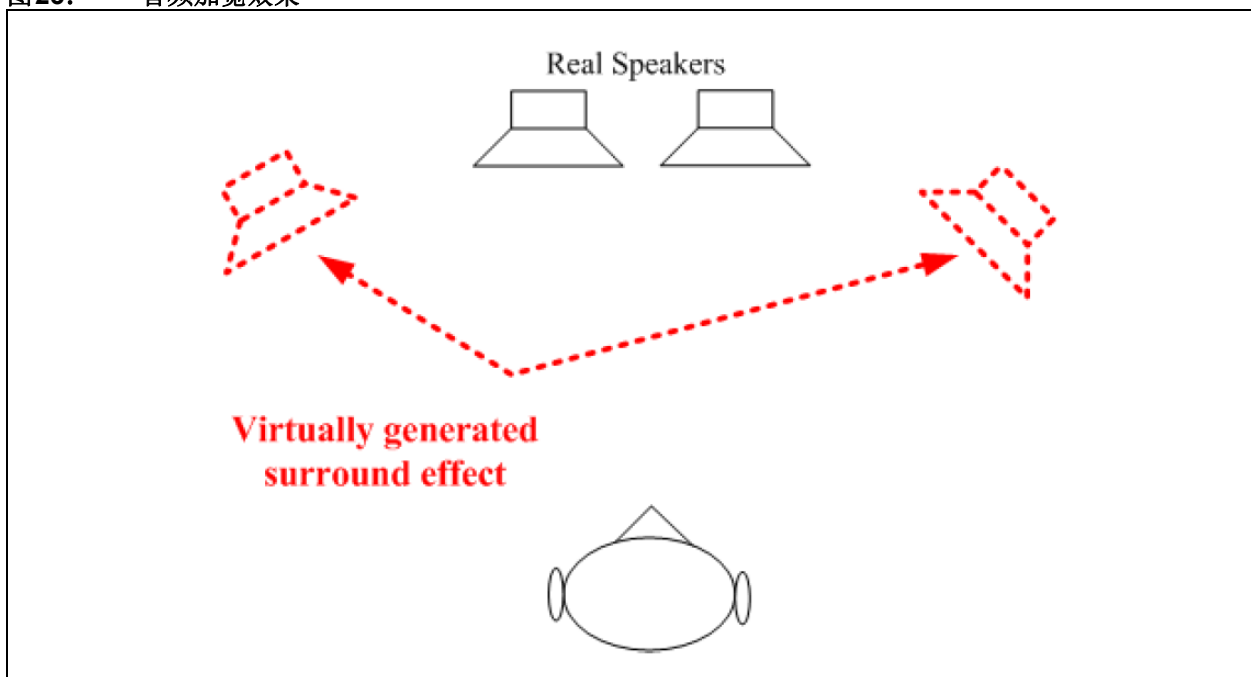
图22: MB-DRC的映射功能



4.3.10 音频加宽参数

音频加宽（AW）音效用于处理彼此靠近、分开或位于一个外壳内的扬声器播放的音乐信号，使声音听起来像彼此远离一样，如图23所示。实际生成的加宽信号与具有不同权重对级别的原始信号混合，如图24所示。

图23: 音频加宽效果



AN2432

4.3.11 AUDIO WIDENING LEVEL

此参数用于控制AW效果的程度。从根本上说，它是原始声音和经过AW处理的声音信号的混合比。图24给出了AW发生器的框图。

图24: AW发生器的框图

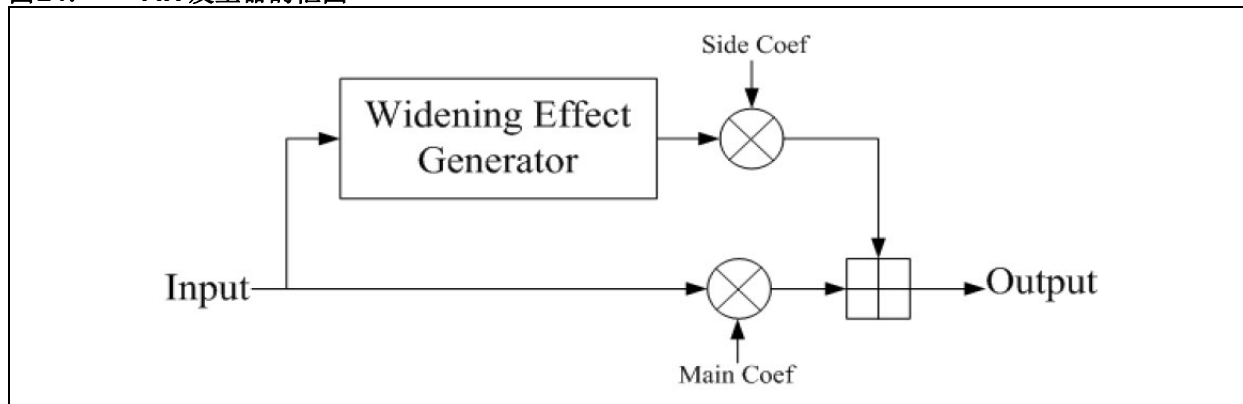


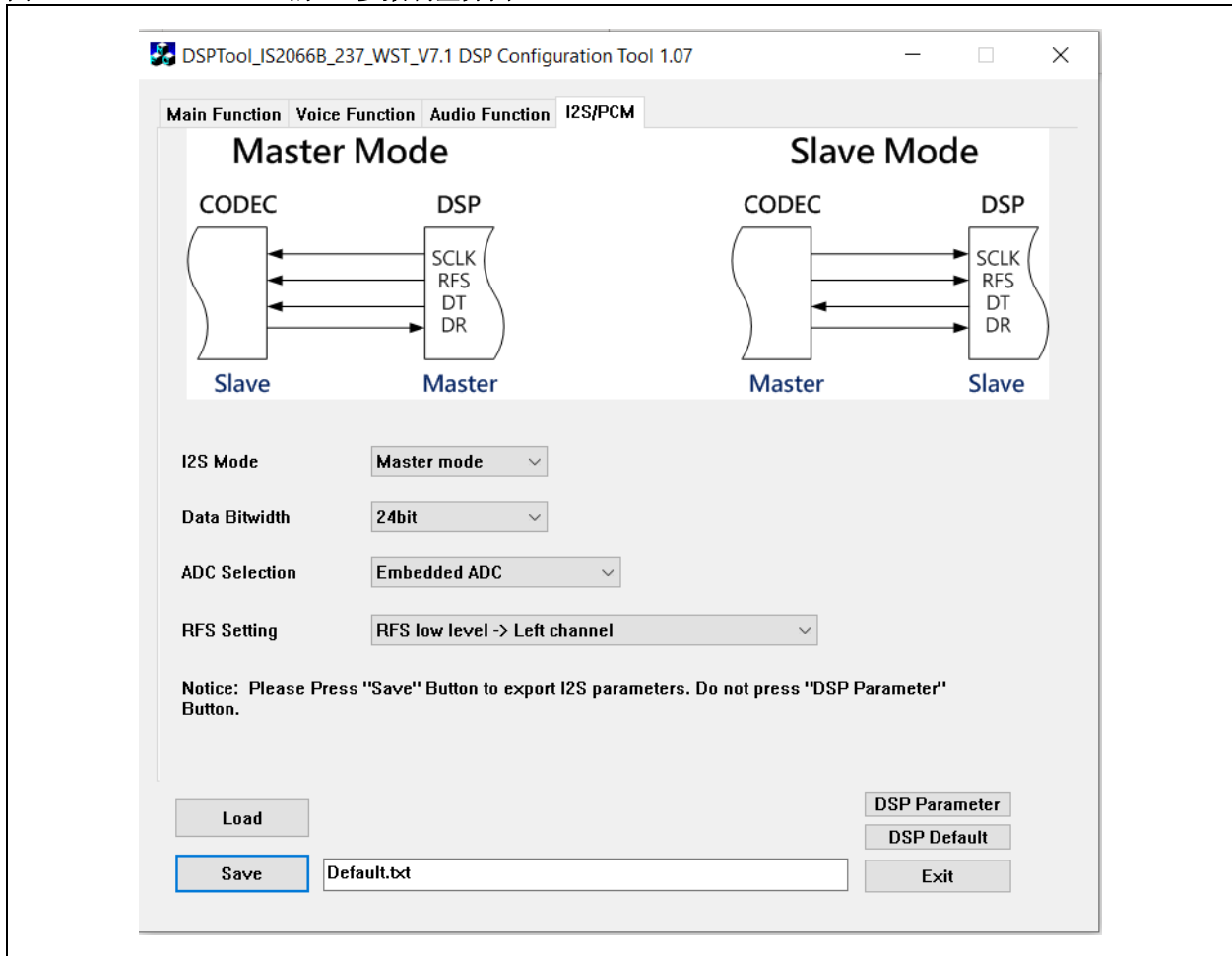
表4-2提供了AW效果的参数。

表4-2: AW效果的参数

EEPROM地址	值
0x353 Bit 7-4: 副系数 Bit 3-0: 主系数	0x00: 副系数 = 0; 主系数 = 1 0x01: 副系数 = 1/16; 主系数 = 1 0x02: 副系数 = 2/16; 主系数 = 1 0x03: 副系数 = 3/16; 主系数 = 14/16 0x04: 副系数 = 4/16; 主系数 = 14/16 0x05: 副系数 = 5/16; 主系数 = 14/16 0x06: 副系数 = 6/16; 主系数 = 13/16 0x07: 副系数 = 7/16; 主系数 = 13/16 0x08: 副系数 = 8/16; 主系数 = 13/16 0x09: 副系数 = 9/16; 主系数 = 12/16 0x0A: 副系数 = 10/16; 主系数 = 12/16 0x0B: 副系数 = 11/16; 主系数 = 12/16 0x0C: 副系数 = 12/16; 主系数 = 11/16 0x0D: 副系数 = 13/16; 主系数 = 11/16 0x0E: 副系数 = 14/16; 主系数 = 10/16 0x0F: 副系数 = 15/16; 主系数 = 9/16

5.0 I²S 数字输出/输入界面

图 25: IS2023 SOC 的 I²S 参数调整界面



IS2063/64 SoC或BM63/64 蓝牙模块支持数字输入/输出的I²S接口。本文档讨论了硬件接线问题，但仅介绍了固件配置。可选参数为“I²S Mode”（I²S模式）、“Data Bitwidth”（数据位宽）、“MIC ADC Selection”（MIC ADC选择）和“RFS Setting”（RFS设置），如图25所示。

这些参数的详细信息将在后续章节中讨论。

5.1 I²S Mode

此参数包含两种模式：

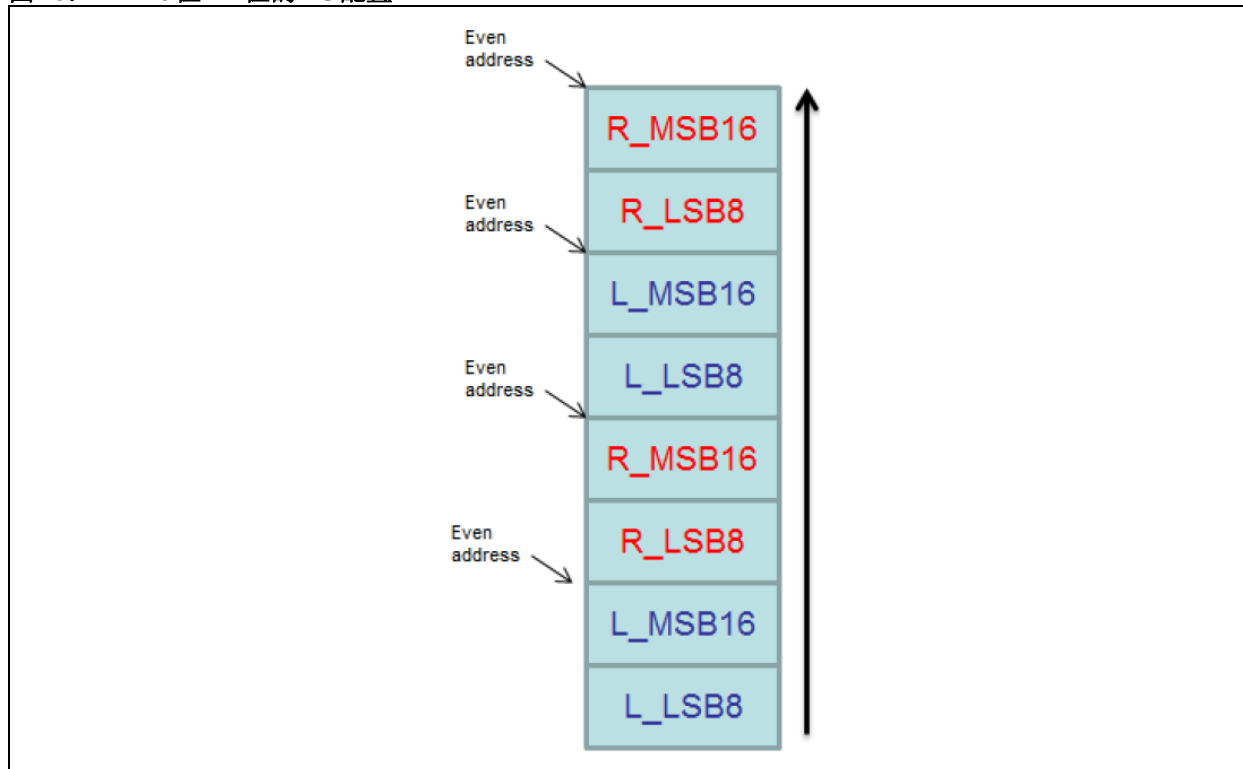
- **Master mode**（主器件模式）—— IS2063/64 SoC 充当主器件，为主器件/从器件数据同步提供时钟和帧同步信号，如图27所示。
- **Slave mode**（从器件模式）—— IS2063/64 SoC 充当从器件，从外部编解码器或DSP 器件接收时钟和帧同步信号，如图28所示。

5.2 Data Bitwidth

DR/DT的位数应从外部编解码器或DSP接收，或发送到外部编解码器或DSP，如图26所示。

- 16位：蓝牙支持的编解码器只能具有16位分辨率。
- 24位：在LSB中追加零是满足外部DSP（支持24位I²S端口要求）的唯一方法。此方法将在16个MSB中填充16位，在LSB中填充8个0。

图26: 16位/24位的I²S配置



5.3 MIC ADC 选择

如果支持免提功能，可选择以下ADC配置：

- 内部ADC：使用片上ADC
- 外部ADC：选择外部ADC/DSP

图27: 主器件模式的I²S硬件配置

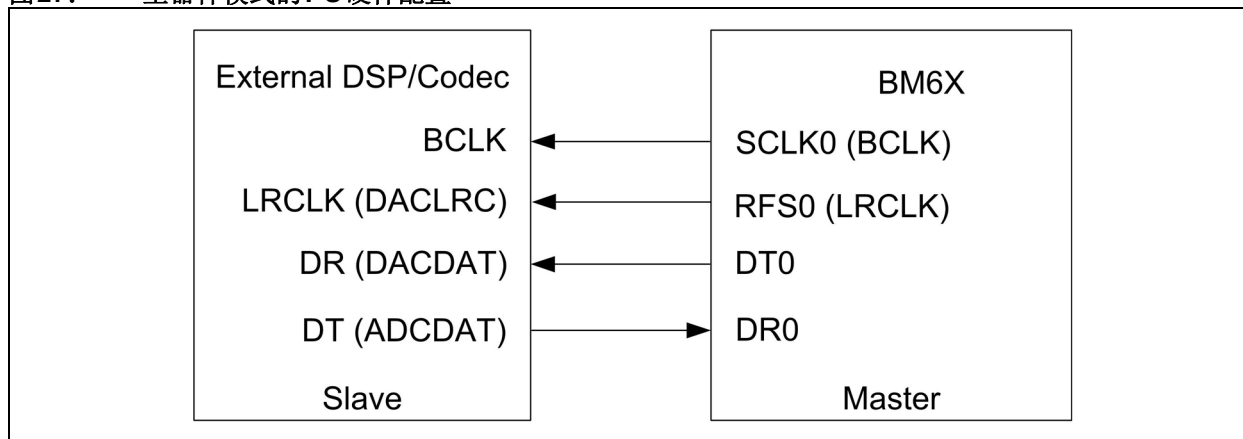
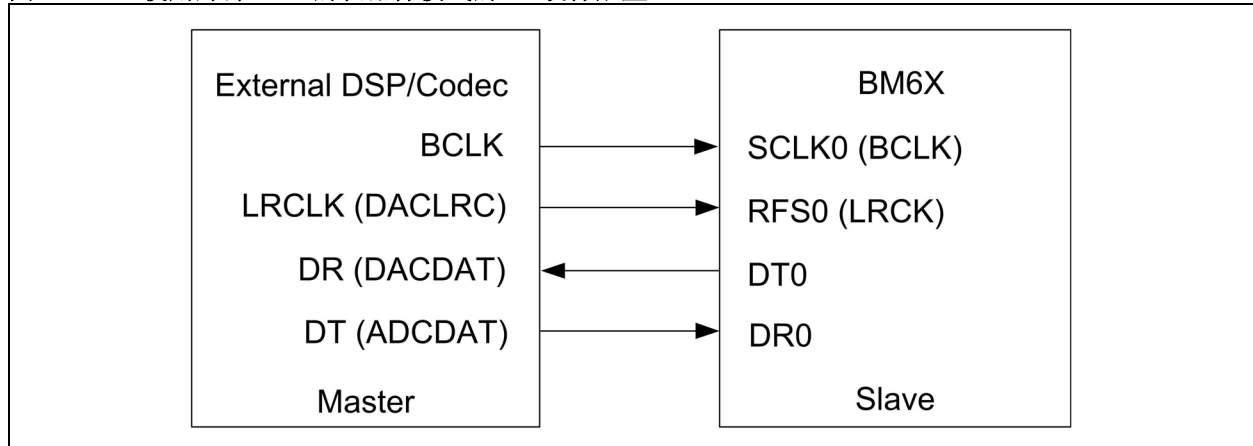


图 28: 使用外部ADC的从器件模式的I²S硬件配置



5.4 RFS Setting

此设置用于确定左声道和右声道中表示左声道数据的RFS信号是高电平还是低电平。

- RFS低电平（左声道）：请参见图29给出的时序图
- RFS高电平（右声道）：请参见图30给出的时序图

图 29: 在左声道中表示的RFS的高低电平变化

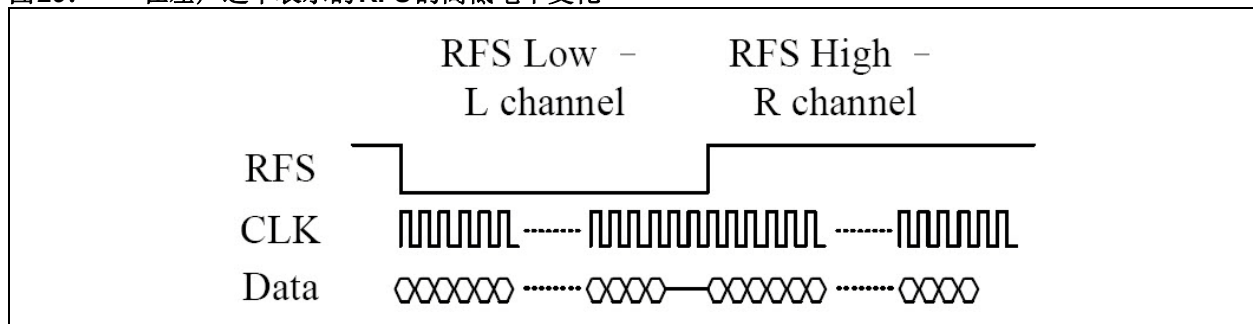
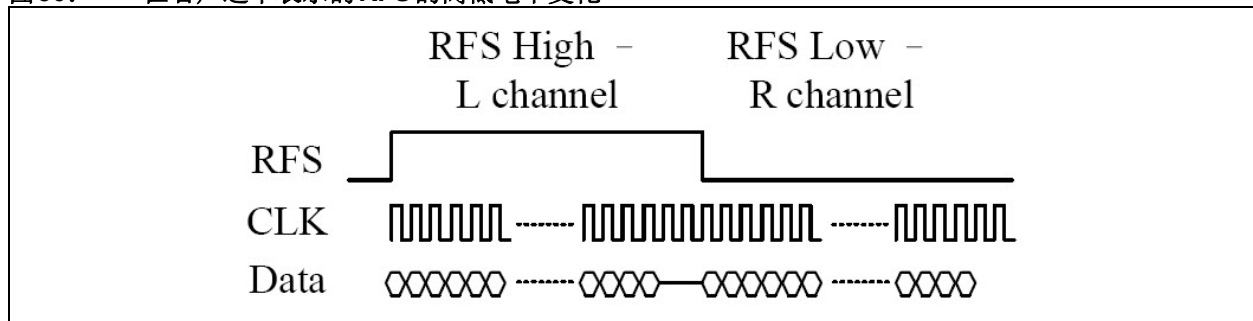


图 30: 在右声道中表示的RFS的高低电平变化

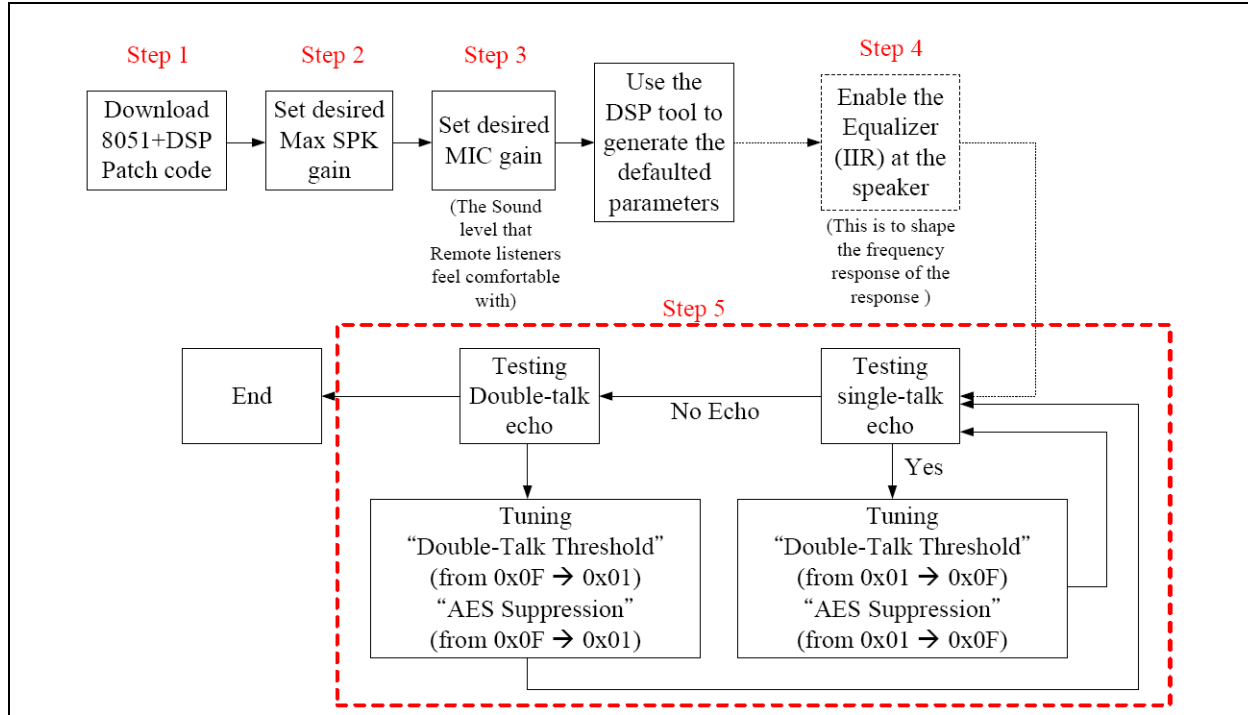


6.0 回声消除性能的调整指南

本章介绍了回声消除性能的微调指南。EC调整通常有三个要求：高MIC音量、无回声和双端发声（Double-Talk, DT）性能。这三个要求彼此不同。例如，如果

需要MIC路径上有高音量，则回声也会被放大。因此，需要调整参数以使回声无法听见，而这会导致DT性能不佳。图31给出了基本解决整个免提电话/车载套件回声问题的前五个步骤。

图31: AEC调整流程图



6.1 第1步

下载所有整合的补丁代码，其中包括用户界面（User Interface, UI）8051和DSP的设置，以及8051和DSP部分的整合补丁代码。补丁代码中实现了一些DSP功能，可下载与本文档同步的最新补丁代码。

6.2 第2步

在调整AEC性能之前，必须确定所需的最大扬声器输出音量。对于室内免提电话，建议的扬声器输出音量必须至少为95 dB声压级（Sound Pressure Level, SPL），对于车载套件应用，则必须至少为100 dB SPL。

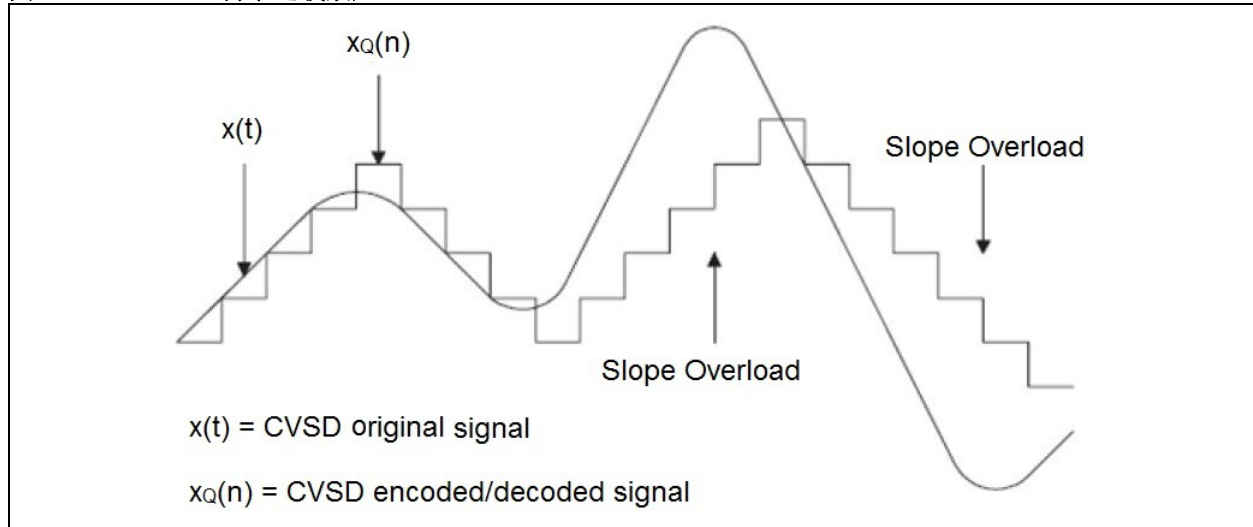
注： 必须在开始时根据所需规范确定目标扬声器输出音量。

6.3 第3步

这是将MIC增益调整为合适值的主要步骤。如图32所示，受斜率过载效应（由CVSD编解码器引起，该编解码器会自然地抑制高频部分，效果等同于低通滤波器）的影响，无需将MIC设置为最大增益。这种效果会使近端语音失真，导致其不如更柔和的MIC增益级别那么清晰。

有关CVSD斜率过载效应的详细信息，请参见“Continuously Variable Slope Delta Modulation: A Tutorial”文档，可从<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/CML/mXxyzvw.pdf>下载此文档。

图32: CVSD斜率过载效应

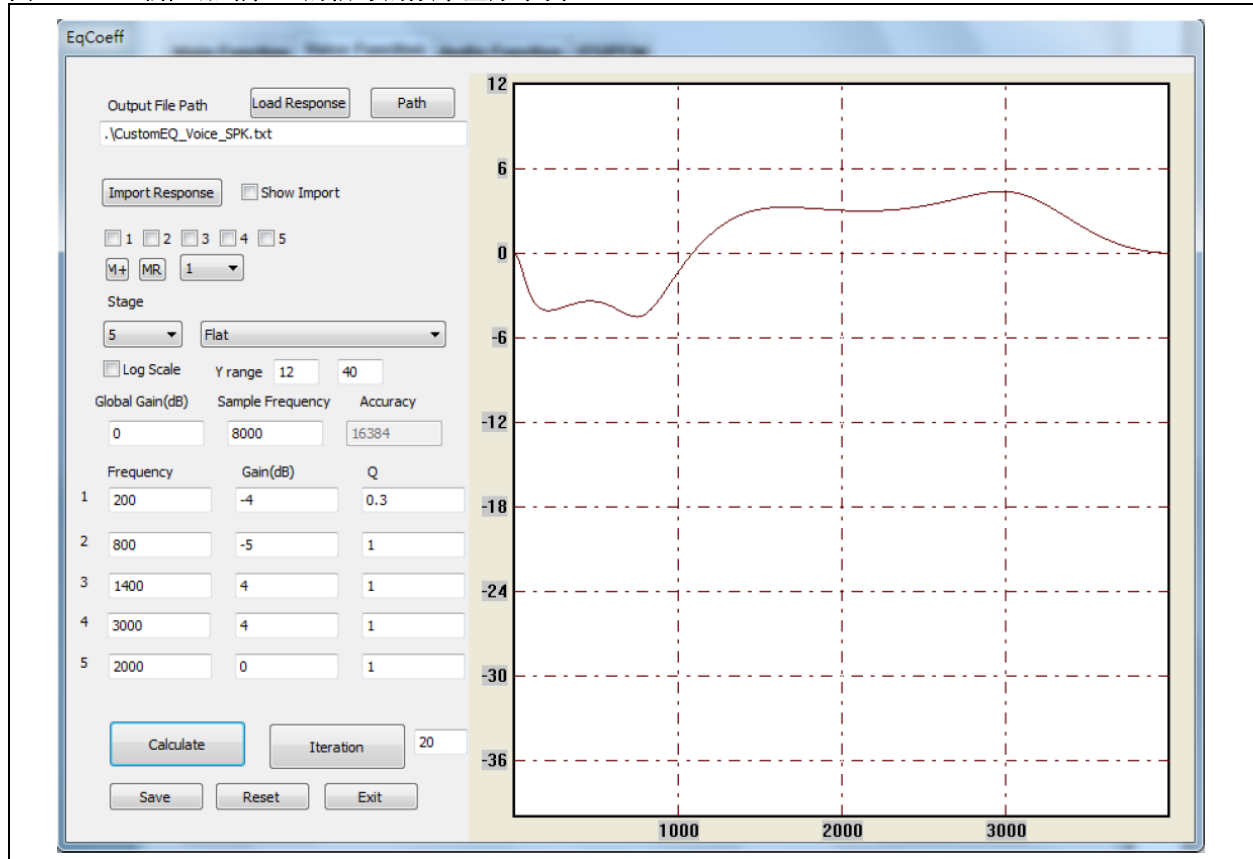


6.4 第4步

这是一个可选步骤。此步骤的目的是通过降低低频部分 (<1 kHz) 和升高高频部分 (1 kHz 至 3 kHz) 来对扬声器输出的频率响应进行整形。

凭借这种方式，可以减少免提电话/车载套件外壳内的回声混响，从而改善耦合到MIC输入的回声的线性度。回声线性度与AEC性能紧密关联。图33给出了根据经验获得的设置的示例。不过，所需的频率会随着选择的扬声器和外壳而变化。

图33: 扬声器路径上的信号的频率整形示例



6.5 第5步

此步骤的目的是逐渐调整AEC性能。这一步可以分为两部分：单端发声回声调整和双端发声回声调整。

6.5.1 单端发声回声调整

参数“Double-Talk Threshold”（双端发声阈值）和“AES Suppression”（AES抑制）（见3.3“回声消除”）负责调整单端发声回声性能。根据经验，首先将“Double-Talk Threshold”的参数从“0x7F”调整为“0x1C”。如果“AES Suppression”的值为“0x04”并且仍无法有效抑制回声（可听单端发声回声），则开始将“AES Suppression”从“0x01”逐渐调整为“0x0F”。

注： 尽管“Double-Talk Threshold”的可选值最高为0x1C，但建议不要使用这两个值来抑制回声，因为这会导致MIC语音严重失真。

6.5.2 双端发声回声

如果能够通过“Double-Talk Threshold”和“AES Suppression”的默认设置有效抑制单端发声回声，则可进一步提高和微调双端发声性能。双端发声性能的第一个建议参数为“AES Suppression”，建议从“0x0F”调整为“0x01”（无半双工）。如果在“0x01”的情况下的“Double-Talk Threshold”仍不存在单端发声回声，则可以考虑将参数“AES Suppression”从“0x0C”调整为“0x01”。

可采用以下措施来提高双端发声性能：

1. 提高AEC MIC增益：要提高MIC增益，请参见6.3“第3步”，原因是AES和AEC都将回声抑制为双端发声近端语音。如果提高了近端语音能量，则可以提高双端发声性能，这样便可听到近端语音，而不会出现单端发声回声。
2. 调整频率整形，如图33所示：如果扬声器输出音量很大，并且麦克风输入端的回声-语音比过高，则改善此现象的方法是进一步抑制扬声器输出的低频部分。结果是，麦克风输入端低频部分的回声-语音比进一步降低，从而获得更出色的双端发声性能。
3. 使用支持全双工AEC的设备：某些手机（例如“Samsung Galaxy II”和“HTC Incredible”等）

在连接蓝牙免提设备时不支持全双工语音通信。这样，在使用这些手机时，将无法获得令人满意的全双工性能。

4. 仅允许单声道输出（假设是立体声免提电话的情况）：如果麦克风和其中一个扬声器声道之间的距离非常近（< 4 cm），则针对全双工进行AEC调整将变得非常困难。一种简单的方法是关闭较近的扬声器声道输出，仅允许另一个扬声器输出，这样便可更轻松地实现全双工。可通过用户界面（UI）配置所需扬声器声道输出的数量。

7.0 EEPROM 文件格式

DSP 配置工具基于 GUI 上的可配置参数生成 EEPROM 格式的文件（如图 34 所示）。

图 34: EEPROM 格式及其定义

Address	Hex Value
02D0	** ** ** ** **
02E0	** ** ** ** **
02F0	** ** ** ** 00 00 00
0300	3F 61 09 86 01 00 00 04
0310	13 05 30 04 00 04 05 04
0320	40 40 50 12 12 16 20 10
0330	20 71 01 6A 0A C3 04 00
0340	40 F0 7F 40 00 09 00 00
0350	69 35 02 8F F9 15 00 00
0360	1E AA 55 ** ** ** **
0370	** ** ** ** **
0380	** ** ** ***
0390	** ** ** ***
03A0	** ** ** ***
03B0	** ** ** ***
03C0	** ** ** ***
03D0	** ** ** ***
03E0	** ** ** ***
03F0	** ** ** ***
0400	** ** ** ***
0410	** ** ** ***
0420	** ** ** ***
0430	** ** ** ***
0440	** ** ** ***
0450	** ** ** ***
0460	** ** ** ***

Name	Modified	Type	Size
Default_IS2066B_236_SHS_V6.1.v1.21_includedAACuns			
Default_IS2066B_236_SHS_V6.1.v1.22_includedAACuns			
Default_IS2066B_236_SHS_V6.1.v1.22_includedAACuns			
Default_IS2066B_237_WST_V7.1.1.00.txt			
Default_IS2066B_237_WST_V7.1.1.01.txt			
Default_IS2066B_237_WST_V7.1.1.02.txt			
Default_IS2066B_237_WST_V7.1.1.03.txt			
Default_IS2066B_237_WST_V7.1.1.04.txt			
Default_IS2066B_237_WST_V7.1.1.05_Codec1.8V.txt			
Default_IS2066B_237_WST_V7.1.1.05_Codec2.7V.txt			
Default_IS2066B_237_WST_V7.1.1.06_Codec1.8V.txt			
Default_IS2066B_237_WST_V7.1.1.06_Codec2.7V.txt			
Default_IS2066B_237_WST_V7.1.1.07_Codec1.8V.txt			
Default_IS2066B_237_WST_V7.1.1.07_Codec2.7V.txt	11/7/2019 9:49 AM	Text Document	35 KB
Default_IS2066B_237_WST_V7.1.1.07_Codec2.7Vtest.txt	11/28/2019 2:06 PM	Text Document	35 KB
Default_Kentest_workaroundbug.txt	4/18/2019 10:26 AM	Text Document	35 KB
Default_test.txt	4/22/2019 10:46 AM	Text Document	35 KB
EEPROM_Patch.txt	11/27/2018 9:56 AM	Text Document	33 KB
EEPROM_Patch_Cformat.txt	11/27/2018 9:56 AM	Text Document	4 KB
EEPROM_Patch_MC_svn6.txt	3/22/2019 2:22 PM	Text Document	33 KB
IS2066_BT5506_004_TWS_Audio_Sync_Fixed_mSBC_PLC_Resend_Delay_20181126.txt	11/26/2018 9:28 AM	Text Document	33 KB
IS2066_BT5506_004_TWS_Audio_Sync_Fixed_mSBC_PLC_Resend_Delay_20181126_Patch_Cformat.txt	11/26/2018 9:28 AM	Text Document	4 KB
IS2066B_(Left)_patch_v0.93_full_e2prom_table_LEDnormal.txt	4/30/2019 10:15 AM	Text Document	41 KB
IS2066B_(Right)_patch_v0.93_full_e2prom_table_LEDnormal.txt	4/30/2019 10:16 AM	Text Document	41 KB
JM left UI +DSP test 0314 table merge.txt	3/14/2019 10:25 AM	Text Document	36 KB
JM right UI +DSP test 0314 table merge.txt	3/14/2019 10:41 AM	Text Document	36 KB

标头信息定义了 IC 版本、DSP 配置工具版本、日期和内容的校验和。图 3 显示了 DSP Parameter 按钮，它用于生成“0x400”以内的 EEPROM 地址内容。可通过按下 Save 按钮来生成完整的 EEPROM 表。

注： 如图 35 所示，“0x800”以外存储的内容包括 DSP 补丁代码、I²S 系数和部分 EQ 系数。

AN2432

图 35: 0X800 以外的 EEPROM 内容

0800	01 00 00 04 08 C1 8A 2F	D1 00 01 AA 01 00 00 05	:
0810	01 A4 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	:
0820	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	:
0830	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	:
0840	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	:
0850	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	:
0860	00 00 40 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	:
0870	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	:
0880	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	:
0890	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	:
08A0	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	:
08B0	00 00 00 00 00 00 40 00	00 00 00 00 00 00 00 00	:
08C0	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	:
08D0	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	:
08E0	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	:
08F0	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	:
0900	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 40 00 00 00 00 00	:
0910	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	:
0920	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	:
0930	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	:
0940	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	:
0950	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 40 00	:
0960	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	:
0970	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	:
0980	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	:
0990	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	:
09A0	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	:
09B0	00 00 40 00 00 00 I2 00	00 BE 01 00 00 05 00 B8	:
09E0	00 00 40 00 00 00 I2 00	00 BE 01 00 00 05 00 B8	:
09C0	01 00 00 1F 00 45 EB 1F	00 01 00 00 00 01 00 00	:
09D0	10 10 08 60 01 00 00 1F	00 22 EB 1F 00 01 00 00	:
09E0	00 01 00 00 10 10 08 60	01 00 00 1F 00 03 EB 5F	:
09F0	00 01 00 00 00 01 00 00	10 10 08 60 01 00 00 1F	:
0A00	00 0B EB 5F 00 01 00 00	00 01 00 00 10 10 08 60	:
0A10	01 00 00 1F 00 C5 EB 5F	00 01 00 00 00 01 00 00	:
0A20	10 10 08 60 01 00 00 1F	00 05 EB 5F 00 01 00 00	:
0A30	00 01 00 00 10 10 08 60	12 03 B9 1E 12 03 B9 1E	:
0A40	11 03 F3 1E 12 03 E9 06	11 03 F3 1E 12 03 E9 06	:
0A50	01 00 00 1F 00 0B EB 5F	00 01 00 00 00 01 00 00	:
0A60	10 10 08 60 01 00 00 1F	00 0B EB 5F 00 01 00 00	:
0A70	00 01 00 00 10 10 08 60	D0 01 08 DD 01 00 00 05	:
0A80	08 D7 55 AA CB 40 08 19	08 83 50 28 00 81 95 2A	:
0A90	35 84 FD 29 FD 88 6D 28	09 8A F1 29 90 A0 25 2A	:
0AA0	9D 8A 27 29 21 E6 07 6A	0D 08 83 50 28 00 81 95	:
0AB0	2A 35 84 FD 29 FD 88 6D	28 09 8A F1 29 90 A0 25	:
0AC0	2A 9D 8A 27 29 21 E6 07	5A 0D 08 83 50 28 00 81	:
0AD0	95 2A 35 84 FD 29 FD 88	5D 28 09 8A F1 29 90 A0	:
0AE0	2E 2A 08 8A 27 29 21 E6	07 2A 08 83 50 28 00 81	:

The placing order is
DSP EQ → I2S
parameters → patch
code

EQ parameters

I2S parameters

Patch code

附录A： 版本历史

版本B（2020年4月）

更新了下图：

- [图3](#)、[图4](#)、[图5](#)、[图6](#)、[图8](#)、[图9](#)、[图10](#)、[图12](#)、[图13](#)、[图14](#)、[图15](#)、[图16](#)、[图20](#)、[图25](#)和[图34](#)

版本A（2018年1月）

本文档的初始版本。

AN2432

注:

请注意以下有关 Microchip 器件代码保护功能的要点：

- Microchip 的产品均达到 Microchip 数据手册中所述的技术规范。
- Microchip 确信：在正常使用的情况下，Microchip 系列产品非常安全。
- 目前，仍存在着用恶意、甚至是非法的方法来试图破坏代码保护功能的行为。我们确信，所有这些行为都不是以 Microchip 数据手册中规定的操作规范来使用 Microchip 产品的。这种试图破坏代码保护功能的行为极可能侵犯 Microchip 的知识产权。
- Microchip 愿与那些注重代码完整性的客户合作。
- Microchip 或任何其他半导体厂商均无法保证其代码的安全性。代码保护并不意味着我们保证产品是“牢不可破”的。代码保护功能处于持续发展之中。Microchip 承诺将不断改进产品的代码保护功能。任何试图破坏 Microchip 代码保护功能的行为均可视为违反了《数字千年版权法案 (Digital Millennium Copyright Act)》。如果这种行为导致他人在未经授权的情况下，能访问您的软件或其他受版权保护的成果，您有权依据该法案提起诉讼，从而制止这种行为。

提供本文档的中文版本仅为了便于理解。请勿忽视文档中包含的英文部分，因为其中提供了有关 Microchip 产品性能和使用情况的有用信息。Microchip Technology Inc. 及其分公司和相关公司、各级主管与员工及事务代理机构对译文中可能存在的任何差错不承担任何责任。建议参考 Microchip Technology Inc. 的英文原本文档。

本出版物中提供的信息仅仅是为了方便您使用 Microchip 产品或使用这些产品来进行设计。本出版物中所述的器件应用信息及其他类似内容仅为您提供便利，它们可能由更新之信息所替代。确保应用符合技术规范，是您自身应负的责任。

Microchip “按原样”提供这些信息。Microchip 对这些信息不作任何明示或暗示、书面或口头、法定或其他形式的声明或担保，包括但不限于针对非侵权性、适销性和特定用途的适用性的暗示担保，或针对其使用情况、质量或性能的担保。

在任何情况下，对于因这些信息或使用这些信息而产生的任何间接的、特殊的、惩罚性的、偶然的或间接的损失、损害或任何类型的开销，Microchip 概不承担任何责任，即使 Microchip 已被告知可能发生损害或损害可以预见。在法律允许的最大范围内，对于因这些信息或使用这些信息而产生的所有索赔，Microchip 在任何情况下所承担的全部责任均不超出您为获得这些信息向 Microchip 直接支付的金额（如有）。如果将 Microchip 器件用于生命维持和 / 或生命安全应用，一切风险由买方自负。买方同意在由此引发任何一切损害、索赔、诉讼或费用时，会维护和保障 Microchip 免于承担法律责任。除非另外声明，在 Microchip 知识产权保护下，不得暗或以其他方式转让任何许可证。

有关 Microchip 质量管理体系的更多信息，请访问 www.microchip.com/quality。

商标

Microchip 的名称和徽标组合、Microchip 徽标、Adaptec、AnyRate、AVR、AVR 徽标、AVR Freaks、BesTime、BitCloud、chipKIT、chipKIT 徽标、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、FlashFlex、flexPWR、HELDO、IGLOO、JukeBlox、KeeLoq、Kleer、LANCheck、LinkMD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、Microsemi、Microsemi 徽标、MOST、MOST 徽标、MPLAB、OptoLyzer、PacTime、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32 徽标、PolarFire、Prochip Designer、QTouch、SAM-BA、SenGenuity、SpyNIC、SST、SST 徽标、SuperFlash、Symmetricom、SyncServer、Tachyon、TimeSource、tinyAVR、UNI/O、Vectron 及 XMEGA 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家或地区的注册商标。

AgileSwitch、APT、ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、FlashTec、Hyper Speed Control、HyperLight Load、IntelliMOS、Liberio、motorBench、mTouch、Powermite 3、Precision Edge、ProASIC、ProASIC Plus、ProASIC Plus 徽标、Quiet-Wire、SmartFusion、SyncWorld、Temux、TimeCesium、TimeHub、TimePictra、TimeProvider、WinPath 和 ZL 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国的注册商标。

Adjacent Key Suppression、AKS、Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、AnyIn、AnyOut、Augmented Switching、BlueSky、BodyCom、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoAutomotive、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、Espresso T1S、EtherGREEN、IdealBridge、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Intelligent Paralleling、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、maxCrypto、maxView、memBrain、Mindi、MiWi、MPASM、MPF、MPLAB Certified 徽标、MPLIB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICtail、PowerSmart、PureSilicon、QMatrix、REAL ICE、Ripple Blocker、RTAX、RTG4、SAM-ICE、Serial Quad I/O、simpleMAP、SimpliPHY、SmartBuffer、SMART-I.S.、storClad、SQI、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Switchtec、SynchroPHY、Total Endurance、TSHARC、USBCheck、VariSense、VectorBlox、VeriPHY、ViewSpan、WiperLock、XpressConnect 和 ZENA 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家或地区的商标。

SQTP 为 Microchip Technology Incorporated 在美国的服务标记。

Adaptec 徽标、Frequency on Demand、Silicon Storage Technology 和 Symmcom 均为 Microchip Technology Inc. 在除美国外的国家或地区的注册商标。

GestIC 为 Microchip Technology Inc. 的子公司 Microchip Technology Germany II GmbH & Co. KG 在除美国外的国家或地区的注册商标。

在此提及的所有其他商标均为各持有公司所有。

© 2021, Microchip Technology Incorporated 版权所有。

ISBN: 978-1-5224-7611-5



全球销售及服务中心

美洲

公司总部 Corporate Office
2355 West Chandler Blvd.
Chandler, AZ 85224-6199
Tel: 1-480-792-7200
Fax: 1-480-792-7277

技术支持:
<http://www.microchip.com/support>

网址: www.microchip.com

亚特兰大 Atlanta
Duluth, GA

Tel: 1-678-957-9614
Fax: 1-678-957-1455

奥斯汀 Austin, TX
Tel: 1-512-257-3370

波士顿 Boston
Westborough, MA
Tel: 1-774-760-0087
Fax: 1-774-760-0088

芝加哥 Chicago
Itasca, IL
Tel: 1-630-285-0071
Fax: 1-630-285-0075

达拉斯 Dallas
Addison, TX
Tel: 1-972-818-7423
Fax: 1-972-818-2924

底特律 Detroit
Novi, MI
Tel: 1-248-848-4000

休斯敦 Houston, TX
Tel: 1-281-894-5983

印第安纳波利斯 Indianapolis
Noblesville, IN
Tel: 1-317-773-8323
Fax: 1-317-773-5453
Tel: 1-317-536-2380

洛杉矶 Los Angeles
Mission Viejo, CA
Tel: 1-949-462-9523
Fax: 1-949-462-9608
Tel: 1-951-273-7800

罗利 Raleigh, NC
Tel: 1-919-844-7510

纽约 New York, NY
Tel: 1-631-435-6000

圣何塞 San Jose, CA
Tel: 1-408-735-9110
Tel: 1-408-436-4270

加拿大多伦多 Toronto
Tel: 1-905-695-1980
Fax: 1-905-695-2078

亚太地区

中国 - 北京
Tel: 86-10-8569-7000

中国 - 成都
Tel: 86-28-8665-5511

中国 - 重庆
Tel: 86-23-8980-9588

中国 - 东莞
Tel: 86-769-8702-9880

中国 - 广州
Tel: 86-20-8755-8029

中国 - 杭州
Tel: 86-571-8792-8115

中国 - 南京
Tel: 86-25-8473-2460

中国 - 青岛
Tel: 86-532-8502-7355

中国 - 上海
Tel: 86-21-3326-8000

中国 - 沈阳
Tel: 86-24-2334-2829

中国 - 深圳
Tel: 86-755-8864-2200

中国 - 苏州
Tel: 86-186-6233-1526

中国 - 武汉
Tel: 86-27-5980-5300

中国 - 西安
Tel: 86-29-8833-7252

中国 - 厦门
Tel: 86-592-238-8138

中国 - 香港特别行政区
Tel: 852-2943-5100

中国 - 珠海
Tel: 86-756-321-0040

台湾地区 - 高雄
Tel: 886-7-213-7830

台湾地区 - 台北
Tel: 886-2-2508-8600

台湾地区 - 新竹
Tel: 886-3-577-8366

亚太地区

澳大利亚 Australia - Sydney
Tel: 61-2-9868-6733

印度 India - Bangalore
Tel: 91-80-3090-4444

印度 India - New Delhi
Tel: 91-11-4160-8631

印度 India - Pune
Tel: 91-20-4121-0141

日本 Japan - Osaka
Tel: 81-6-6152-7160

日本 Japan - Tokyo
Tel: 81-3-6880-3770

韩国 Korea - Daegu
Tel: 82-53-744-4301

韩国 Korea - Seoul
Tel: 82-2-554-7200

马来西亚 Malaysia - Kuala Lumpur
Tel: 60-3-7651-7906

马来西亚 Malaysia - Penang
Tel: 60-4-227-8870

菲律宾 Philippines - Manila
Tel: 63-2-634-9065

新加坡 Singapore
Tel: 65-6334-8870

泰国 Thailand - Bangkok
Tel: 66-2-694-1351

越南 Vietnam - Ho Chi Minh
Tel: 84-28-5448-2100

欧洲

奥地利 Austria - Wels
Tel: 43-7242-2244-39
Fax: 43-7242-2244-393

丹麦 Denmark - Copenhagen
Tel: 45-4485-5910
Fax: 45-4485-2829

芬兰 Finland - Espoo
Tel: 358-9-4520-820

法国 France - Paris
Tel: 33-1-69-53-63-20
Fax: 33-1-69-30-90-79

德国 Germany - Garching
Tel: 49-8931-9700
德国 Germany - Haan
Tel: 49-2129-3766400

德国 Germany - Heilbronn
Tel: 49-7131-72400

德国 Germany - Karlsruhe
Tel: 49-721-625370

德国 Germany - Munich
Tel: 49-89-627-144-0
Fax: 49-89-627-144-44

德国 Germany - Rosenheim
Tel: 49-8031-354-560

以色列 Israel - Ra'anana
Tel: 972-9-744-7705

意大利 Italy - Milan
Tel: 39-0331-742611
Fax: 39-0331-466781

意大利 Italy - Padova
Tel: 39-049-7625286

荷兰 Netherlands - Drunen
Tel: 31-416-690399
Fax: 31-416-690340

挪威 Norway - Trondheim
Tel: 47-7288-4388

波兰 Poland - Warsaw
Tel: 48-22-3325737

罗马尼亚 Romania - Bucharest
Tel: 40-21-407-87-50

西班牙 Spain - Madrid
Tel: 34-91-708-08-90
Fax: 34-91-708-08-91

瑞典 Sweden - Gothenberg
Tel: 46-31-704-60-40

瑞典 Sweden - Stockholm
Tel: 46-8-5090-4654

英国 UK - Wokingham
Tel: 44-118-921-5800
Fax: 44-118-921-5820